

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 56 594.5

**Anmeldetag:** 4. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Schott Glas, 55122 Mainz/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Beheizung von  
Schmelzen

**IPC:** C 03 B, C 30 B

BEST AVAILABLE COPY

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Februar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Remus

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Verfahren und Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen

5 Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zur konduktiven Beheizung von Schmelzen.

10 Das Schmelzen von Gläsern oder Glaskeramiken in konventionellen, aus dem Stand der Technik bekannten Wannen, ist in der Regel auf Schmelztemperaturen von 1600 °C bis maximal 1650 °C beschränkt. Bereits bei Schmelztemperaturen von 1700 °C ist die Standzeit der Wannen schon sehr stark  
15 eingeschränkt.

Die Beheizung der Glasschmelze in konventionellen Wannen erfolgt herkömmlich durch Öl- oder Gas-Brenner, die sich im Oberofen befinden. Die Wärme wird in diesem Fall über die Glasoberfläche in das Glas eingebracht. Bei stark gefärbten  
20 Gläsern ist die Absorption im Bereich der Glasoberfläche bereits so hoch, daß nur relativ dünne Glasschichten durchwärmt werden. In solchen Fällen erfolgt oft eine elektrische Zusatzbeheizung durch Elektroden, die durch den  
25 Wannenboden eingeführt werden.

Bei den elektrisch beheizten Wannen wird die Glasschmelze konduktiv durch Elektroden mit Wechselstrom beheizt, d.h. die Glasschmelze wird direkt beheizt. Die Elektroden werden

entweder durch den Wannenboden oder durch die Seitenwände der Wanne in die Glasschmelze eingeführt und sind allseits von der Glasschmelze umgeben.

5 Als Elektrodenmaterial wird vielfach Molybdän oder Platin verwendet. Die Mo-Elektroden neigen sehr stark zur Oxidation, sie dürfen daher im allgemeinen nicht mit der Luft in Berührung kommen. Auch Glasschmelzen mit Redox-Elementen wie zum Beispiel  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  und  $\text{As}_2\text{O}_5$  können die Mo- oder Pt-  
10 Elektroden angreifen.

Pt-Elektroden sind wesentlich oxidationsbeständiger, können aber langzeitstabil nur bis zu Temperaturen von  $1500^\circ\text{C}$ , kurzfristig auch bis  $1650^\circ\text{C}$ , eingesetzt werden.

15

Aus den Patentschriften GB 644,463 und DE 100 05 821 sind nur durch Wasser gekühlte Stabelektroden bekannt. Mit gekühlten Stabelektroden lässt sich jedoch, aufgrund der maximalen Strombelastung pro Fläche der Elektroden, nur eine begrenzte  
20 Leistungsmenge zuführen. Eine Beheizung eines Schmelzaggregates mit stark gekühlten Wänden ist mit einer solchen Elektroden nur sehr eingeschränkt möglich, da keine höheren Leistungsdichten eingebracht werden können.

25

Elektroden mit größeren Oberflächen - sogenannte Plattenelektroden- werden unter anderem in den Patentschriften SU 1016259 oder DE 2705618 beschrieben. Derartige Elektroden haben den Vorteil, daß sie aufgrund der großen Elektrodenoberfläche höheren Strombelastungen  
30 ausgesetzt werden können. Diese Plattenelektroden sind aber nicht gekühlt, so daß auch hier die maximal erreichbare Schmelzentemperatur auf die Anwendungsgrenztemperatur des Elektrodenmaterials begrenzt ist. In der SU 1016259 wird zwar durch die Positionierung der Elektroden im Innern des

35

Schmelzaggregates erreicht, daß die Wände des

Schmelzaggregates kühler sind als die Temperatur in der Mitte des Schmelzaggregates. Die Elektroden haben aber die gleiche Temperatur wie die Schmelze und sind somit der für die maximal erreichbare Temperatur der Schmelze limitierende Faktor.

Ein ähnlicher Ansatz wird in den Patentschriften US 5961686, US 6044667 und US 631470 beschrieben, wobei nur der innere Bereich des Schmelzaggregates mit gekühlten Top-Elektroden beheizt wird. Die Wände sind zusätzlich wassergekühlt. Mit dieser Anordnung lässt sich die Wandtemperatur auf kleiner als 1482 °C zur Vermeidung einer starken Korrosion halten. Die maximale Schmelztemperatur ist jedoch durch die Positionierung der Elektroden in der heißesten Zone auf 1788 °C begrenzt. Der Aufbau des Aggregates hat den entscheidenden Nachteil, daß von dem gesamten Schmelzvolumen nur ein kleiner Teil für das Schmelzen bei den hohen Temperaturen genutzt werden kann. Darüber hinaus ist das Aggregat aufgrund der mit Gemenge bedeckten Oberfläche nicht für das Läutern geeignet.

Um Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder Kristalle über 1700 °C schmelzen zu können, müssen zum einen die Wände der Schmelzaggregate und die in der Schmelze befindliche Elektroden gekühlt werden und zum anderen muss der Schmelze mehr Energie zugeführt werden, als der Schmelze durch die gekühlten Wände und Elektroden entzogen wird.

Für das Schmelzen von hochschmelzenden Gläsern oder Kristallen wird in der Patentliteratur das Schmelzen mit Hochfrequenz in Skulttiegeln beschrieben. So wird zum Beispiel in der DE 199 39 779 das kontinuierliche Schmelzen von hochschmelzenden Gläsern mit einem Hochfrequenz-beheizten Skulttiegel beschrieben.

Unter einem Skulttiegel wird hier ein Gefäß verstanden, dessen Wände aus eng nebeneinander angeordneten, wassergekühlten Metallrohren bestehen. Die Dichtigkeit des Tiegels wird durch Einfrieren der Schmelze in unmittelbarer Umgebung der Rohre gewährleistet. Somit kann auf Feuerfest-Material verzichtet werden.

Der Skulttiegel ist von einer Hochfrequenzspule umgeben. Zwischen den metallischen Rohren muss ein Zwischenraum sein, damit die Hochfrequenz in die Schmelze einkoppeln kann. Die Glasschmelze wird mit Hilfe der Hochfrequenz direkt beheizt.

Die Vorteile des Schmelzens mit Hochfrequenz in einem Skulttiegel bestehen darin, daß Glasschmelzen auch auf Temperaturen über 1700°C erhitzt werden können.

Durch das direkte Einkoppeln der Hochfrequenz in die Schmelze kann die Schmelze im Randbereich des Schmelzaggregates kälter sein als in der Mitte. Durch die gekühlten Metallrohre bildet sich eine Skultschicht aus arteigenem Material aus, die sich immer wieder selbst erneuern kann. Somit lassen sich auch hochschmelzende oder sehr aggressive Gläser noch gut einschmelzen und läutern.

Ein weiterer Vorteil des Schmelzens mit Hochfrequenz besteht darin, daß bei den hohen Temperaturen auch andere Läutermittel, sogenannte Hochtemperaturläutermittel, zum Läutern eingesetzt werden können. Dies ermöglicht es zum Beispiel, wie in der DE 19939771 beschrieben ist, auf toxische Läutermittel wie Arsenoxid oder Antimonoxid zu verzichten.

Jedoch hat das Schmelzen mit Hochfrequenz den Nachteil, daß die zu schmelzenden Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder Kristalle bei der Schmelztemperatur eine ausreichend hohe

elektrische Leitfähigkeit besitzen müssen. Die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze muss dabei hoch genug sein, damit die über die Hochfrequenz eingetragene Energie größer ist, als die über die Wände und insbesondere über die Skullwände abgeführte Wärmeenergie. Obwohl die Grenze der erforderlichen elektrischen Leitfähigkeit auch von einer Reihe apparativer Parameter abhängt, hat sich in der Praxis gezeigt, daß die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze über  $10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  liegen sollte.

10

Die elektrische Leitfähigkeit von Gläsern und Glaskeramiken wird dabei im allgemeinen sehr stark durch den Alkaligehalt und in geringerem Maß nur durch die Erdalkali-Anteile dieser Gläser bestimmt.

15

In der Praxis hat sich allerdings gezeigt, daß insbesondere die hochschmelzenden Gläser, für die das Hochfrequenzschmelzen im Skultiegel aufgrund der hohen Temperaturen besonders geeignet wäre, in den meisten Fällen gerade eine zu geringe elektrische Leitfähigkeit von unter  $10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  aufweisen. Somit können mit der Hochfrequenzschmelztechnik eine Reihe von wichtigen technischen Gläsern nicht verarbeitet werden.

25

Zu diesen Gläsern gehören zum Beispiel die Gläser mit hoher Temperaturbeständigkeit und hoher Temperaturwechselbeständigkeit, die zum Beispiel für Pharmaverpackungen, hochtemperaturbelastbare Lampen oder Brandschutzgläser benötigt werden. Solche Gläser müssen sowohl eine hohe Transformationstemperatur als auch eine geringe lineare Wärmeausdehnung aufweisen, wobei diese Gläser meist eine hohe Schmelztemperatur und eine geringe elektrische Leitfähigkeit besitzen.

30

Eine weitere Gruppe von Gläsern, wie zum Beispiel Display-Gläser müssen im weiteren Verarbeitungsprozess beschichtet werden. Hierbei sind Alkaligehalte in den Gläsern unerwünscht, da Alkalimetalle leicht aus den Gläsern diffundieren können und so beispielsweise in die funktionellen Schichten des Displays gelangen. Auch diese Gläser besitzen aufgrund des geringen oder nicht vorhandenen Alkaligehalts eine zu geringe elektrische Leitfähigkeit, um gut genug mit der Hochfrequenz anzukoppeln.

Dementsprechend besteht Bedarf an einem Verfahren und einer Vorrichtung, die es ermöglichen, Gläser, Glaskeramiken, Keramiken und Kristalle auch bei hohen Temperaturen, etwa über 1600 °C vorzugsweise über 1700 °C zu schmelzen, wobei die Gläser, Glaskeramiken, Keramiken und Kristalle auch eine geringere elektrischen Leitfähigkeit als  $10^{-1} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  besitzen können.

Mit dem Verfahren und der Vorrichtung soll es einerseits möglich sein, die Wände des Schmelzaggregates ausreichend zu kühlen, um einen chemischen Angriff der Schmelze auf die Wände zu verhindern und andererseits der Schmelze mehr Energie zuzuführen, als ihr durch die gekühlten Wände entzogen werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 30 gelöst.

Dementsprechend ist erfindungsgemäß ein Verfahren zur Beheizung einer Schmelze in einem Schmelzgefäß mit gekühlten Wänden vorgesehen, wobei die Schmelze konduktiv beheizt wird und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden fließt, wobei die Elektroden jeweils einen Bestandteil der Wandung des Schmelzgefäßes ersetzen. Dies ist

im Sinne der Erfindung auch so zu verstehen, daß beim Einbringen oder durch das Einsetzen von Elektroden in ein Schmelzgefäß vorgegebener Geometrie die Summe der Oberflächen von Schmelzgefäß und Elektroden im Bereich der Schmelze konstant bleibt. Wird beispielsweise eine bestimmte Geometrie des Schmelzgefäßes gewählt, so nehmen die Elektroden einen Teil der Wände des Schmelzgefäßes ein, wobei die gewählte Geometrie erhalten bleibt. Im Gegensatz dazu wurde bisher, beispielsweise durch zusätzliches Einbringen von Fingerelektroden die Wandungsfläche vergrößert, so daß sich auch dementsprechend die Kühlleistung erhöht.

Vorteilhaft können die Elektroden dazu in Aussparungen der gekühlten Wände des Schmelzgefäßes eingesetzt sein. Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird ein günstiges Verhältnis des Oberflächenanteiles des Schmelzgefäßes, durch den Energie in die Schmelze eingetragen wird, zum Oberflächenanteil gekühlter Wandungen geschaffen. Dadurch wird es auch möglich, durch geeignetes Einstellen oder Regeln der Kühlleistung zumindest einen Bereich der Schmelze durch den Strom auf eine Temperatur aufzuheizen, die wesentlich oberhalb der Temperatur der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials liegen kann. Insbesondere kann in der Schmelze eine Temperatur erreicht werden, die oberhalb der Anwendungsgrenztemperatur, wie insbesondere oberhalb der Schmelz- oder Zersetzungstemperatur des Schmelzkontaktmaterials zumindest einer der Elektroden oder des Wandungsmaterials liegt. Unter Zersetzung wird in diesem Zusammenhang insbesondere chemische Zersetzung, wie korrosiver Angriff, Sublimation oder Verdampfung verstanden.

Anwendungsgrenztemperaturen für verschiedene Schmelzkontaktmaterialien sind unter anderem aus den Veröffentlichungen



- [1] Johnson Matthey Noble Metals: "Platinum Sheet Material for the Glass Industry",
- [2] Glass Science and Technology 13: „Metals in Glassmaking“, Roland Kirsch (Ed.), Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo, 1993,
- [3] E. Drost, H. Gölitzer, M. Poniatowski, S. Zeuner: „Platinwerkstoffe für Hochtemperatur-Einsatz“, Metall - Internationale Zeitschrift für Technik und Wirtschaft Nr.7/8 1996, Seiten 492 - 498, Metallverlag Berlin/Heidelberg 7/8 1996 , und
- [4] „Precious Metals Science and Technology“: L. S. Benner, T. Suzuki, K. Meguro, S. Tanaka (Eds.), The International Precious Metals Institute, USA, 1991,

bekannt, deren Offenbarung diesbezüglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Erfindung gemacht wird.

Die Anwendungsgrenztemperatur von Schmelzkontaktmaterialien wird dabei unter anderem durch die chemische Zusammensetzung, das Kornwachstum, die Oxidationsbeständigkeit, die Korrosionsbeständigkeit in der Schmelze, die Warmfestigkeit, die Zeitstandsfestigkeit, die Kriechrate, die Einsatzdauer und die Beheizungsart bestimmt. Für reines Platin wird trotz der guten chemischen Beständigkeit auf Grund der geringen Warmfestigkeit eine maximale Daueranwendungstemperatur von 1400 °C angegeben (siehe hierzu beispielsweise Veröffentlichung [1]). In vielen Fällen, wie unter anderem aus den Veröffentlichungen [2] und [4] bekannt ist, kann Platin auch noch bis 1500 °C sicher verwendet werden.

Um beispielsweise eine besonders schnelle und effektive Läuterung des Schmelzgutes zu erreichen, ist es günstig, wenn die Temperatur der Schmelze in zumindest einem Bereich über 1600 °C, vorzugsweise über 1700 °C gehalten wird. Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Elektroden im Schmelzgefäß ist

es dabei auch möglich, ein Material wie Platin als Schmelzkontaktmaterial einzusetzen, welches an sich für Temperaturen oberhalb von 1600 °C aufgrund der Temperaturbelastbarkeit dieses Materials sonst im allgemeinen nicht dauerhaft zu verwenden wäre.

Die Temperatur der Schmelzkontaktfläche der Elektroden, insbesondere von Elektroden mit Platin als Schmelzkontaktmaterial wird vorzugsweise auf höchstens 1500 °C gehalten. Auf diese Weise wird vermieden, daß Elektrodenmaterial, welches die Eigenschaften des Schmelzmaterials, wie beispielsweise die Farbe beeinflusst, in größeren Mengen in die Schmelze migriert. Außerdem wird auf diese Weise die Standzeit der Elektrode erheblich erhöht.

Durch Zulegieren anderer Platingruppenmetalle zu Pt, wie etwa Rh, Ir oder Ru können im Einzelfall auch noch höhere Warmfestigkeiten erreicht werden, wie beispielsweise in den Veröffentlichungen [1], [2] oder [3] offenbart wird. Ab Temperaturen höher als 60% der Schmelztemperatur  $T_s$  setzt jedoch meist Kristallwachstum ein, das zu einer Reduzierung der Warmfestigkeit führt und somit die Anwendungsgrenztemperatur für PtRh10 auf 1550 °C, für PtRh20 auf 1650 °C und für PtRh40 auf maximal 1700 °C begrenzt. PtRh-Legierungen scheiden außerdem im allgemeinen dann aus, wenn eine Färbung des Glases durch Rhodium nicht tragbar ist.

Durch die Verwendung von feinkornstabilisiertem Platin oder solchen Platinlegierungen, wie beispielsweise PtRh10 sind Anwendungsgrenztemperaturen von 1500 °C bzw. 1650 C möglich, da die Grobkornbildung hier erst bei Einsatztemperaturen höher als 85% der Schmelztemperatur  $T_s$  beginnt (siehe dazu auch die Veröffentlichungen [1], [2] und [3]).

Feinkornstabilisierte Werkstoffe, wie das oben erwähnte feinkornstabilisierte Platin werden auch als

dispersionsverfestigte Werkstoffe oder  
oxiddispersionsgehärtete Werkstoffe bezeichnet.

Die Anwendungsgrenztemperatur kann außerdem durch die  
5 chemische Beständigkeit der Schmelzkontaktmaterialien  
begrenzt sein, die unter anderem von der Anwesenheit  
polyvalenter Elemente in der Schmelze abhängt. Diese bilden  
häufig niedrig schmelzende Legierungen mit den  
Schmelzkontaktmaterialien, welche die  
10 Anwendungsgrenztemperatur erheblich reduzieren können. Liegen  
keine beabsichtigten Zusätze an polyvalenten Elementen, zum  
Beispiel in der Form von Läutermitteln vor, so sind meist  
immer noch Verunreinigungen in den Gläsern vorhanden.

15 Bei keramischen Materialien können sich  
Anwendungsgrenztemperaturen unter anderem durch eine  
chemische Zersetzung in Kontakt mit einer Glasschmelze  
ergeben. So können schmelzgegossene keramische Materialien,  
wie Hoch-Zirkonhaltiges Keramikmaterial (HZFC) oder AZS  
20 (Aluminium-Zirconia Silica) im allgemeinen nur bis maximal  
1650 °C als Schmelzkontaktmaterial eingesetzt werden.

Auch kann die Anwendungsgrenztemperatur durch Oxidation  
herabgesetzt werden. Insbesondere beim Einsatz von Iridium  
25 muss auch der Anteil von Schwefel im Glas berücksichtigt  
werden, da die Bildung von  $\text{IrS}_2$  die Verwendung von Ir  
erheblich einschränken kann.

Mo ist in Glasschmelzen üblicherweise bis 1700 °C einsetzbar.  
30 Bei Mo setzt aber zwischen 1600 °C und 1800 °C spontanes  
Kornwachstum ein, das mit einer starken Abnahme der  
Festigkeit verbunden ist, so daß dadurch eine  
Anwendungsgrenztemperatur innerhalb dieses  
Temperaturbereiches gegeben sein kann. Vergleichbares gilt  
35 für W. Hier ist die totale Rekristallisation bereits bei 1500

°C abgeschlossen. Die Anwendungsgrenztemperatur von Mo und W wird jedoch weniger durch die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen als durch die chemische Beständigkeit bestimmt. Mo und W oxidieren an Luft bzw. Sauerstoff bei 5 400 °C. Aus der Veröffentlichung [2] ist weiterhin bekannt, daß im Glas gelöste polyvalente Verbindungen ebenfalls zur MoO<sub>3</sub>- bzw. WO<sub>3</sub>-Bildung führen. Mo reagiert bei 1650 °C mit SiO<sub>2</sub> und bei 1700 °C mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> unter Bildung von MoO<sub>3</sub>. Dadurch kann es ab diesen Temperaturen zu unerwünschter Ablösung und 10 Abwanderung von Molybdän in die Schmelze kommen, so daß bei diesen Temperaturen ebenfalls Anwendungsgrenzen erreicht werden können.

Ist Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> als Läutermittel im Glas vorhanden, kann es ab 15 600 °C bis 900 °C zur Bildung von Mo<sub>3</sub>Sb<sub>7</sub> kommen und die Anwendungsgrenztemperatur von Mo aufgrund der Bildung einer flüssigen Phase und einer damit verbundenen Zerstörung des Bauteils erheblich senken. As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reagiert mit Mo ebenfalls unter Bildung niedrig schmelzender Eutektika. Ein wichtiger 20 Faktor bei der Anwendungsgrenztemperatur von Mo und W sind Molybdate und Wolframate, die in alkalihaltigen Schmelzen gebildet werden können. Diese Verbindungen weisen niedrigere Schmelzpunkte als die reinen Oxide auf. Somit können die Anwendungsgrenztemperaturen auch vom Alkali-Anteil der 25 jeweiligen Gläser abhängen.

Durch die Erfindung werden eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitgestellt, bei welcher die Stromdichte auf der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials besonders niedrig 30 gehalten werden kann, so daß sich das Schmelzkontaktmaterial wenig aufheizt. Gegenüber herkömmlichen Elektroden wird bei der erfindungsgemäßen Elektrode die Gesamtoberfläche, bestehend aus der Elektroden- und Behältnisoberfläche nicht erhöht, da die Elektrode einen Teil der Behältnisoberfläche 35 einnimmt. Dabei nimmt jedoch der Anteil der Oberfläche des

Schmelzgefäßes zu, der Energie in die Schmelze einbringt. Demgegenüber musste bei herkömmlichen Elektroden, um die maximal mögliche Stromdichte nicht zu überschreiten, die Elektrodenoberfläche vergrößert werden, wodurch sich eine vergrößerte Gesamtoberfläche, bestehend aus der Elektroden- und Behältnisoberfläche, ergab, welche wiederum zu einem erhöhten Wärmeartrag führt.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur Hochtemperaturläuterung von Schmelzen umfaßt demgegenüber entsprechend

- ein Schmelzgefäß mit gekühlten Wänden zur Aufnahme von Schmelzgut, und
- zumindest zwei Elektroden zur konduktiven Beheizung der Schmelze, die jeweils einen Bestandteil der Wände des Schmelzgefäßes ersetzen. Beispielsweise können diese dazu in Aussparungen in der Wandung des Schmelzgefäßes eingesetzt sein.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Elektroden und die direkte konduktive Heizung des Schmelzgutes wird es möglich, ein Temperaturgefälle einzustellen, bei welchem zumindest ein Bereich der Schmelze auf einer Temperatur gehalten werden kann, die deutlich höher als die Temperatur der Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials, sogar beispielsweise höher als die Anwendungsgrenztemperatur des Schmelzkontaktmaterials der Elektroden ist. Auf diese Weise lassen sich insbesondere Läuterungsvorgänge beschleunigen. Vorteilhaft nimmt dazu die Elektrodenfläche mehr als 5%, vorzugsweise mehr als 10% und besonders bevorzugt mehr als 15% der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes ein. Durch derartige großflächige Elektroden wird die Stromdichte und damit deren Aufheizung niedrig gehalten. Darüber hinaus ist eine homogene Leistungseinbringung über das gesamte Schmelzvolumen unter Verhinderung von Totvolumina gegeben.

Die Erfinder haben erkannt, daß eine Einstellung eines Temperaturgefälles auch in Schmelzen mit einer elektrischen Leitfähigkeit von kleiner als  $10^{-1} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  möglich ist. Ein  
5 Vorteil des Verfahrens beispielsweise gegenüber der induktiven Hochfrequenzbeheizung liegt somit unter anderem darin, daß auch bei Schmelzen mit einer elektrischen Leitfähigkeit von kleiner als  $10^{-1} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  eine  
Hochtemperaturläuterung, insbesondere mit Temperaturen  
10 zumindest von Bereichen der Schmelze über  $1600^\circ\text{C}$ , vorzugsweise über  $1700^\circ\text{C}$  durchgeführt werden kann. Eine vorteilhafte Hochtemperaturläuterung wird unter anderem in der DE 199 39 771 beschrieben, deren Offenbarungsgehalt diesbezüglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Erfindung  
15 gemacht wird.

Die erforderliche Leitfähigkeit der Schmelze ist hinsichtlich der Durchführbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens kaum beschränkt, da die Betriebsspannung der Elektroden  
20 entsprechend angepaßt werden kann. Bevorzugt liegt bei der Schmelztemperatur die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze in einem Bereich von  $10^{-3}$  bis  $10^2 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ , besonders bevorzugt in einem Bereich von  $10^{-2}$  bis  $10^1 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ .

25 Als Elektroden für die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur Hochtemperaturläuterung von Schmelzen können besonders vorteilhaft auch Heizvorrichtungen eingesetzt werden, wie sie in der am gleichen Tag wie die Erfindung angemeldeten  
30 deutschen Anmeldung der Anmelderin mit dem Titel „Heizvorrichtung mit Elektrode zur konduktiven Beheizung von Schmelzen“ beschrieben wird und deren Offenbarungsgehalt bezüglich der hier beschriebenen Elektroden der Vorrichtung vollumfänglich auch zum Gegenstand der vorliegenden Anmeldung

gemacht wird.

Der Aufbau der Elektroden lässt sich in drei Gruppen  
5 aufteilen, wobei jede der Gruppen unterschiedliche Aufgaben  
zu erfüllen hat.

Die erste Gruppe besteht aus dem Schmelzkontaktmaterial und  
den elektrischen Zuleitungen.

10

Die Aufgabe des Schmelzkontaktmaterials ist die Zuleitung der  
elektrischen Energie in die Schmelze. Das Material steht in  
mit einer Oberfläche in direktem Kontakt mit der Schmelze und  
muss daher möglichst inert gegenüber der Schmelze sein. Die  
15 Stromzuführung von außen her kann über geeignete  
Anschlussfahnen erfolgen.

Die zweite Gruppe umfasst die Kühlung.

Die Aufgabe der Kühlung ist vor allem die Einstellung  
20 bestimmter Temperaturprofile in den Materialien der  
Elektrodenkonstruktion. Die Temperaturprofile werden derart  
gewählt, daß eine Überhitzung und eine übermäßige Korrosion  
der Materialien ausgeschlossen wird. Um die Temperatur  
einstellen zu können, umfaßt die Elektrode vorteilhaft  
25 mindestens einen regelbaren Kühlkreislauf.

Ein bevorzugter Aufbau der Elektrode besteht darin, daß die  
Elektrode mit einem doppelten Kühlsystem für zwei  
verschiedene Kühlmedien ausgerüstet sind. Vorteilhaft kann  
30 die Einrichtung zur Kühlung der Elektroden daher zumindest  
zwei insbesondere unabhängig voneinander regelbare oder  
einstellbare Kühlkreise umfassen. Die Kühlkreise können  
vorteilhaft für zwei verschiedene Kühlmedien ausgelegt sein,  
wobei dazu insbesondere Luft, Aerosole und Wasser als  
35 Kühlmedien geeignet sind. Eine weitere Aufgabe der Kühlung

ist außerdem der Auslaufschutz zwischen gekühlten Wänden und gekühlten Elektroden.

Die dritte Gruppe umfasst die Stützkonstruktion.

5 Die Stützkonstruktion dient der Realisierung der elektrischen Zuleitungen, des Schmelzkontaktmaterials und der Kühlung in einem der Elektrodenfunktion gerechten Aufbau. Dazu gehören in erster Linie die Sicherstellung des Austauschs thermischer Energien zwischen der Kühlung und dem Schmelzkontaktmaterial. 10 Es müssen hinsichtlich der thermischen und mechanischen Stabilität geeignete Materialien verwendet werden. Unter anderem sind keramische Materialien dazu geeignet.

Die Stützkonstruktion kann aus einem, wie auch aus mehreren 15 verschiedenen Schichten oder Teilen bestehen, um den Austausch der thermischen Energie zu gewährleisten. Als Schmelzkontaktmaterial ist insbesondere für Glasschmelzen dabei beispielsweise ein Material geeignet, welches elektrisch leitfähige Keramik, wie beispielsweise SnO<sub>2</sub>- 20 Keramik und/oder Refraktärmetalle, wie insbesondere Platinmetalle, beispielsweise Iridium, Rhodium, Platin und deren Legierungen oder hochschmelzende Refraktärmetalle, wie Wolfram, Molybdän, Tantal, Osmium, Hafnium sowie deren Legierungen umfasst. Das Schmelzkontaktmaterial kann außerdem 25 ein feinkornstabilisiertes Material umfassen. Diese zeichnen sich im allgemeinen durch eine hohe Festigkeit und gute Langzeitstabilität aus. Solche feinkornstabilisierten Materialien können beispielsweise hochfeste Platin- oder Iridiummaterialien umfassen.

30

Zumindest eine der Elektroden kann mit Vorteil auch zumindest zwei Elektrodensegmente aufweisen. Die Elektrodensegmente oder Elektrodeneinheiten sind dabei bevorzugt gut gegeneinander elektrisch isoliert und die Elektrodeneinheiten 35 oder Segmente werden vorzugsweise mit so geringem Abstand



zueinander angeordnet, daß die Schmelze durch die Zwischenräume der Elektroden nicht hindurchfließen kann.

5 Durch Kühlen der vorzugsweise großflächigen Elektroden bei gleichzeitiger konduktiver Heizung kann in der Schmelze eine Temperaturverteilung geschaffen werden, bei welcher große Bereiche der Schmelze wesentlich heißer sind als die Schmelzkontaktfläche der Elektroden. Auch bei aktiver Kühlung der Elektroden kann dabei durch die erfindungsgemäße  
10 Elektrodenanordnung und Konfiguration mehr Energie in die Schmelze eingetragen werden, als durch die gekühlten Elektroden und die weiteren Wandungen abgeführt wird.

Vorteilhaft kann dementsprechend die erfindungsgemäße  
15 Vorrichtung auch eine Einrichtung zur Kühlung der Elektroden, insbesondere zur Kühlung des Schmelzkontaktmaterials der Elektroden umfassen, um eine beispielsweise eine Überhitzung des Schmelzkontaktmaterials zu verhindern.

20 Dabei ist es auch besonders vorteilhaft, wenn die Kühlung geregelt wird, so daß eine Überhitzung der Elektroden vermieden und die Kühlleistung auf minimale Wärmeabfuhr optimiert werden kann.

Die Kühlung erfolgt bevorzugt durch Hindurchleiten eines  
25 Kühlfluides, wie insbesondere von Luft und/oder Wasser durch die Elektroden. Mit Vorteil kann dazu entsprechend die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Fluidfördereinrichtung umfassen. Besonders bevorzugt erfolgt dabei die Kühlung durch Hindurchleiten eines gasförmigen Kühlfluides, wie  
30 beispielsweise von Luft mittels eines Niederdruckgebläses. Vorteilhaft wird dabei das Kühlmittel mit einem Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar durch die Elektroden geleitet. Die Kanäle zur Leitung des  
35 Kühlfluides in den Elektroden sind dazu so dimensioniert, daß

ein ausreichender Kühlmittelfluss bereits bei einem solch niedrigen, vom Niederdruckgebläse aufgebauten Druckunterschied erreicht wird.

5 Um ein definiertes Temperaturgefälle vom heißesten Bereich der Schmelze hin zum Schmelzkontaktmaterial der Elektroden herstellen zu können, umfaßt die erfindungsgemäße Vorrichtung außerdem bevorzugt eine Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung der Elektroden. Die in die Wand des  
10 Schmelzgefäßes integrierten Elektroden und die Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung sind dabei bevorzugt so ausgelegt, daß die Temperatur der Schmelzkontaktfläche der Elektroden über das eingebaute Kühlsystem sehr genau in einem weiten Temperaturbereich gesteuert werden kann.

15

Die Temperatur der Elektroden wird so geregelt, daß während dem Schmelzvorgang die Temperatur der Elektroden stets unter der Temperatur liegt, bei der das Elektrodenmaterial von der Schmelze chemisch in störendem Umfang angegriffen wird.

20

Im Falle von Platin als Elektrodenmaterial sollten zum Beispiel 1550 °C nicht überschritten werden.

25

Bei hoher Konvektion der Schmelze muss die Temperatur der Elektroden unter Umständen weiter abgesenkt werden, so daß auch in diesem Fall die Elektroden durch die Schmelze nicht in störendem Umfang angegriffen werden.

30

Ein wesentlicher Faktor für die Aufheizung der Elektrodenoberfläche und die Abführung von Heizleistung ist auch die Strahlungsabsorption von Infrarotstrahlung aus der Schmelze. Während sich eine Temperaturüberhöhung der Schmelze gegenüber den Wandungen des Schmelzgefäßes durch eine Kühlung erreichen läßt, ist dies andererseits auch möglich, indem das Schmelzgefäß eine Infrarot-reflektierende Oberfläche

35

aufweist. Durch die Infrarot-reflektierende Oberfläche wird

die Aufheizung der Wandungen verringert. Eine infrarot-reflektierende Oberfläche ist dementsprechend zu einer Kühlung der Wände in ihrer Wirkung innerhalb gewisser Grenzen äquivalent. Dementsprechend sieht die Erfindung auch eine  
5 Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen vor, die ein Schmelz-Konditionier- und/oder Läutergefäß zur Aufnahme von Schmelzgut umfaßt. Dabei weist das Schmelzgefäß eine zumindest bereichsweise Infrarot-reflektierende Oberfläche auf. Eine derartige Vorrichtung kann ebenfalls mit Elektroden  
10 zur konduktiven Beheizung versehen sein. Ebenso können jedoch auch andere Heizverfahren, beispielsweise eine Hochfrequenzbeheizung eingesetzt werden. Um eine gutes Reflexionsvermögen zu erreichen, kann die Infrarot-reflektierende Oberfläche poliert sein. Auch kann diese mit  
15 einer Infrarot-reflektierenden Beschichtung versehen sein, wobei insbesondere eine Gold-, Platin-, Nickel-, Chrom- oder Rhodiumbeschichtung geeignet ist. Mit goldbeschichteten Wänden wurde beispielsweise bereits eine Reduktion der erforderlichen Heizleistung um bis zu 20 % erreicht.

20 Ist eine solche Vorrichtung für die konduktive Beheizung ausgebildet, so kann die Infrarot-reflektierende Oberfläche insbesondere die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials zumindest zweier Elektroden zur konduktiven Beheizung der  
25 Schmelze umfassen, die einen Teil der Wandungen ersetzen. Dabei wird sogar ein deutlicher Effekt bereits dann erzielt, wenn lediglich die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials Infrarot-reflektierend ausgebildet ist.

30 Im Vergleich zu Schmelzaggregaten, die mit Hochfrequenz betrieben werden und bei denen das Schmelzgut in Skulttiegeln vollständig von wassergekühlten Skultlwänden umgeben ist, besitzt das erfindungsgemäße Verfahren weiterhin den Vorteil,  
daß die in die Wände eingebauten, vorzugsweise gekühlten  
35 Elektroden der Schmelze deutlich weniger Wärme entziehen.

Darüber hinaus haben die elektrischen Umrichter für Frequenzen in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz einen deutlich besseren Wirkungsgrad als die herkömmlich bei Skulptiegel eingesetzten Umrichter für Hochfrequenz, wodurch sich ein erheblich kostengünstigerer Betrieb realisieren lässt.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn auch die Wandung des Schmelzgefäßes zumindest in einem Bereich gekühlt wird, um einerseits die Wände vor Überhitzung zu schützen und andererseits ein Temperaturgefälle innerhalb der Schmelze hervorzurufen. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt daher, wie dies beispielsweise bei Skulptiegeln der Fall ist, vorzugsweise eine Einrichtung zur Kühlung zumindest eines Bereichs der Wandung des Schmelzgefäßes.

Es ist insbesondere vorteilhaft, wenn die vorzugsweise großflächigen Elektroden elektrisch isoliert angeordnet werden, damit der Strom zur konduktiven Heizung nur durch die Glasschmelze und nicht über die Wände fließen kann.

Je nach Anordnung der Elektroden und Geometrie des Schmelzgefäßes können die Elektroden vorteilhaft Platten- und/oder Knopf- und/oder Stabelektroden umfassen. Da die Elektroden auch beim Betrieb unterhalb des Temperaturbereiches, bei welchem Zersetzung der Elektrode eintritt, einem gewissen Verschleiß ausgesetzt sind, ist es weiterhin von Vorteil, wenn die Elektroden auswechselbar an der Vorrichtung befestigt sind.

Die Elektroden werden vorzugsweise mit einem Wechselstrom von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt von 2 kHz bis 10 kHz betrieben. Durch den Wechselstrom wird eine Korrosion der Elektroden weitgehend vermieden, da mit zunehmender Frequenz

des Stromes die Korrosion abnimmt. Entsprechend kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung auch vorteilhaft eine Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom, wie etwa einen Mittelfrequenzumsetzer oder einen Wechselstromgenerator umfassen, wobei der Wechselstrom bevorzugt eine Frequenz in einem der oben genannten Bereiche aufweist.

Versuche haben gezeigt, daß bei schlecht elektrisch leitenden Schmelzen der Energieeintrag über großflächige gekühlte Elektroden, die nicht in die Wandungen integriert sind, nicht ausreicht, um diese Schmelzen aufzuheizen, wenn sich die gekühlten Elektroden in einem Schmelzaggregat befinden, dessen Wände ebenfalls gekühlt werden. Der Energieaustrag aus der Schmelze über die gekühlten Wände und der zusätzliche Energieaustrag über die gekühlten Elektroden ist dann bei Schmelzen mit geringer elektrischer Leitfähigkeit höher als der Energieeintrag in die Schmelze. In diesem Fall reicht es auch nicht aus die Schmelzkontaktflächen der Elektroden größer zu machen, da dadurch nicht nur der Energieeintrag größer wird, sondern auch ein zusätzlicher Wärmeentzug über die größere Elektrode erfolgt. Es besteht vielmehr die Gefahr, daß bei aus dem Stand der Technik bekannten Vorrichtungen eine bereits heiße Schmelze durch Wärmeentzug soweit abkühlt, daß sie aufgrund der sinkenden Temperatur und der damit verbunden sinkenden elektrischen Leitfähigkeit auskoppelt.

Dadurch, daß demgegenüber die gekühlten, vorzugsweise großflächigen Elektroden in die gekühlten Wände erfindungsgemäß so integriert werden, daß sie selbst einen Teil der Wände bilden, wird die kühlende Gesamtoberfläche des Aggregats nicht vergrößert, so daß auch bei elektrisch schlecht leitenden Schmelzen der Energieeintrag höher gehalten werden kann, als der Energieaustrag.

Für das Verfahren zur Beheizung der Schmelze ist es vorteilhaft, wenn die Temperatur der Wandungen des Schmelzgefäßes und der Elektroden unterhalb der Temperatur gehalten werden, bei der die Materialien der Wandungen und der Elektroden von Schmelze wesentlich chemisch angegriffen werden. Um bei hohen Schmelztemperaturen also eine lange Standzeit des Schmelzaggregates sicher zu stellen, müssen die gekühlten Wände, insbesondere aus Feuerfestmaterial, über Kühlsysteme soweit abgekühlt werden, daß der chemische Angriff der Schmelze auf das Feuerfestmaterial vernachlässigt werden kann.

Bei hohen Schmelztemperaturen erhöht sich auch die Konvektion der Schmelze und damit der chemische Angriff auf das Feuerfestmaterial. In diesem Fall sollte die Temperatur der Wände weiter abgesenkt werden, um die erhöhte Korrosion der Wände durch die starke Konvektion zu vermeiden. Es ist jedoch generell von Vorteil, wenn die Elektroden und/oder die Wandungen des Schmelzgefäßes, beispielsweise bei Verwendung von Feuerfestkeramik als Elektroden- oder Wandungsmaterial, gegen die Schmelze chemisch weitgehend resistent sind, damit die Wände nicht zu weit abgekühlt werden müssen und der Energieaustrag durch die Wände nicht zu hoch wird. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn das Material der Elektroden und Wandungen eine gute thermische Leitfähigkeit besitzt, damit die Wände effektiv gekühlt werden können.

Als gekühlte Wände können bevorzugt auch Skullwände eingesetzt werden. Die Skullwände haben den Vorteil, daß sich auf den gekühlten metallischen Rohren eine Skullschicht aus arteigenem Material bildet, die sich auch bei hohen Temperaturen stets nachbildet. Die Skullwände haben sich aber auch bei Schmelzen bewährt, die gegen keramische Feuerfestmaterialien chemisch sehr aggressiv sind.

Skullwände entziehen trotz der dünnen wärmeisolierenden Skullschicht der Schmelze allerdings sehr viel Wärme. Als Material für die Wände des Schmelzgefäßes können mit Vorteil daher unter anderem auch Feuerfestkeramiken verwendet werden, wobei auch die Wände aus Feuerfestkeramik vorzugsweise gekühlt werden.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, daß zumindest während des Anfahrprozesses die Skullwände, die vorzugsweise gekühlte metallische Rohre, wie beispielsweise Kupferrohre oder Stahlrohre umfassen, auf der der Schmelze zugekehrten Seite mit einem elektrisch und thermisch schlecht leitenden Material, vorzugsweise in Form von Keramikplatten oder Schlicker, insbesondere  $\text{SiO}_2$ -Schlicker ausgekleidet sind. Damit kann die Wärmeabfuhr solange verringert werden, bis die elektrische Energiezufuhr bei höheren Schmelztemperaturen einen ausreichend hohen Wert erreicht hat.

Es hat sich ebenfalls als vorteilhaft erwiesen, wenn die gekühlten Rohre der Skullwände so beschaffen sind, daß sie keine färbenden Ionen durch die Skullschicht in die Schmelze abgeben. Dies kann zum einen dadurch erreicht werden, daß die Metallrohre entweder aus Platin bestehen, oder mit Platin beschichtet sind. Metallrohre aus Aluminium können an der Oberfläche zwar leicht oxidieren, aber auch sie geben keine färbenden Ionen in die Schmelze ab.

Weiterhin ist es auch möglich, die Metallrohre mit Kunststoff zu beschichten, wie es beispielsweise in der DE 100 02 019 beschrieben ist. Kunststoffbeschichtungen können chemisch sehr resistent sein und geben im allgemeinen keine Metallionen an die Schmelze ab, welche im fertig erschmolzenen und verarbeiteten Produkt unerwünschte Färbungen verursachen können.

Besonders bei der Verwendung von Skullwänden ist es außerdem wichtig, daß keine leitende Verbindung zwischen den eingesetzten Elektroden und den elektrisch leitenden Skullrohren besteht, da sonst aufgrund der Widerstandsverteilung im System eine Beheizung der Schmelze nicht möglich ist. Es müssen daher geeignete Widerstandsbrücken im Skull und zu den Elektroden hin eingesetzt werden, so daß der Strom zur konduktiven Beheizung nicht über den Skull, sondern im wesentlichen durch die Schmelze fließt.

Neben der Frequenz des Stromes hat auch die Stromdichte an der Grenzfläche zur Schmelze einen starken Einfluss auf die Elektrolyse und damit auf die Korrosion der Elektroden. Versuche haben gezeigt, daß es vorteilhaft ist, möglichst großflächige Elektroden einzusetzen, beziehungsweise eine möglichst große Schmelzkontaktfläche zu schaffen, um die Stromdichte möglichst gering zu halten. Um Beschädigungen der Elektroden oder den Eintrag von Elektrodenmaterial in die Schmelze zu unterdrücken, ist es dabei von Vorteil, wenn die Elektroden so dimensioniert werden, daß für eine gegebene Heizleistung eine Stromdichte 5 A/cm<sup>2</sup> nicht überschritten wird.

Untersuchungen haben außerdem gezeigt, daß bei hohen Schmelzentemperaturen insbesondere bei Schmelzentemperaturen über 1700 °C ein wesentlicher Teil der Energie in der Schmelze durch Konvektion transportiert wird. Da die Dichte des Glases mit der Temperatur abnimmt, befindet sich die heißeste Zone üblicherweise im oberen Teil des Schmelzaggregates.

Mit steigender Temperatur nimmt die elektrische Leitfähigkeit einer Schmelze exponentiell zu. Damit ist im oberen Teil des



Schmelzaggregates die elektrische Leitfähigkeit am höchsten und die Stromdichte auf den Elektroden ist dort besonders hoch. Es hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, daß einer Überlastung der Elektroden vorgebeugt werden kann, wenn die Elektroden im unteren Teil des Schmelzaggregates angeordnet werden. Die Anordnung der Elektroden im unteren Teil des Schmelzaggregates hat weiterhin den Vorteil, daß auch im unteren Teil des Schmelzaggregates eine hinreichende Konvektion herrscht und somit Totzonen der Strömung vermieden oder verkleinert werden. Damit befindet sich auch die Oberkante der Elektroden immer unterhalb der Schmelzbadoberfläche, wodurch eine Dreiphasengrenze Luft-Schmelze-Elektrode vermieden wird, die für die Korrosion besonders kritisch ist. Als vorteilhaft hat sich dabei insbesondere erwiesen, die Elektroden im unteren Teil des Schmelzgefäßes unterhalb der Schmelzbadoberfläche im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes anzuordnen.

Eine Überlastung der Elektroden kann auch vermieden werden, wenn die Schmelzkontaktflächen der Elektroden schräg zueinander angeordnet werden, wobei die Schmelzkontaktflächen zur Schmelzbadoberfläche hin auseinanderstreben, so daß sich im oberen Teil nahe der Schmelzbadoberfläche eine längere Widerstandsstrecke zwischen den Elektroden ergibt als im unteren Teil. Dadurch kann beispielsweise die bedingt durch die höhere Temperatur im oberen Bereich der Schmelze nahe der Schmelzbadoberfläche höhere Leitfähigkeit zur Erreichung einer homogenen Stromdichte zumindest teilweise kompensiert werden. Beispielsweise kann dazu das Schmelzgefäß eine sich nach oben hin pyramidenstumpfförmig oder kegelförmig erweiternde Form aufweisen. Als weitere Maßnahme zur Reduzierung der maximalen Strombelastung auf den Elektroden kann auch beispielsweise deren oberer Rand abgerundet werden.

Bei größeren Aggregaten kann die Beheizung auch über mehr als ein Elektrodenpaar erfolgen. Eine Ausführungsform der Vorrichtung sieht daher mehrere Elektrodenpaare und/oder  
5 mehrere Paare von Elektrodensegmenten vor. Diese können insbesondere mit mehreren unabhängig regelbaren Heizkreise betrieben werden. Zwei Kreise können dabei zum Beispiel in einer Scott-Schaltung betrieben werden.

10 Der Begriff eines Elektrodenpaares soll hier im elektrischen Sinne als ein Polpaar verstanden werden. Dabei können auch durchaus mehrere Elektroden und/oder mehrere Elektrodensegmente auf einen elektrischen Pol, beziehungsweise einen elektrischen Anschluß zusammengelegt  
15 werden. Es ist dabei auch die Anordnung mehrerer Elektrodenpaare übereinander an den Seitenwänden des Schmelzgefäßes möglich. Auf diese Weise lässt sich die vertikale Temperaturschichtung gezielt einstellen. Mittels einer geeigneten elektronischen Ansteuerung können auch  
20 vorteilhaft unabhängig regelbare Heizkreise, denen jeweils ein Elektrodenpaar zugeordnet ist, zeitlich versetzt nacheinander betrieben werden.

Zur Vermeidung von zu hohen Spannungen bei geringer  
25 elektrischer Leitfähigkeit der Schmelze kann die Elektrodenoberfläche auch dadurch vergrößert werden, daß mit einer oder mehreren Bodenelektroden und mit einer oder mehreren Elektroden in den Seitenwänden gearbeitet wird. Die Elektrodenpaare können dabei auch von mehreren Stromquellen  
30 versorgt werden.

Mehrere vertikal- oder horizontal nebeneinander angeordnete Elektrodenpaare können auch zur gezielten Beeinflussung der räumlichen Temperaturverteilung angeordnet werden.  
35 Beispielsweise kann die vertikale Temperaturschichtung durch

zwei unabhängig betriebene Elektrodenpaare und Heizkreise so eingestellt werden, daß Totzonen der Strömung im unteren Teil des Schmelzaggregates vermieden werden.

5 Die Elektroden können ferner vorteilhaft so angeordnet und beschaltet werden, daß vorzugsweise im unteren Bereich des Schmelzaggregates der Hauptteil der elektrischen Leistung abfällt.

10 Das Schmelzgefäß kann mit Vorteil einen quadratischen oder rechteckigen Grundriss aufweisen, so daß die Elektroden ebene Schmelzkontaktflächen haben können. Zur Reduzierung der spezifischen Oberfläche der Schmelze bei gleichem  
15 Volumeninhalt kann das Schmelzgefäß jedoch auch zylinderförmig mit kreisförmigen oder ovalem Grundriss ausgeführt werden. Dann können die Elektroden unter anderem auch ringförmig ausgestaltet sein und beispielsweise ein Höhensegment der Wandung des Schmelzgefäßes einnehmen. Die Vorrichtung kann auch eine oder mehreren am Boden des  
20 Schmelzgefäßes angeordnete Elektroden aufweisen. Eine Elektrode für ein derart geformtes Schmelzgefäß kann auch beispielsweise ein Ringsegment der Wandung des Schmelzgefäßes bilden. Bodenelektroden können vorteilhaft auch so angeordnet werden, daß die Möglichkeit des Zu- oder Ablaufes von  
25 Schmelzgut am Boden besteht.

Das Schmelzgefäß kann auch einen vieleckigen Grundriss haben, der sich so beispielsweise gut einem runden oder ovalen Grundriss annähert und in einfacher Weise aus ebenen  
30 Wandsegmenten herstellbar ist.

Das erfindungsgemäße Schmelzaggregat mit den gekühlten Wänden und den darin integrierten großflächigen Elektroden kann sowohl zum Einschmelzen als auch zum Läutern von Gläsern,  
35 Glaskeramiken, Keramiken oder Kristallen eingesetzt werden.

Es ist auch möglich zwei dieser Aggregate, beispielsweise eines zum Einschmelzen und ein weiteres zum Läutern hintereinander zu schalten. Weiterhin können die Aggregate sowohl zum diskontinuierlichen als auch zum kontinuierlichen Schmelzen eingesetzt werden.

Bei der Verwendung des Aggregates zum Einschmelzen kann der Einschmelzvorgang durch Bubbling mit einem Gas, beispielsweise mit Sauerstoff oder Edelgas, beschleunigt werden. Dazu kann die Vorrichtung mit Vorteil zumindest eine vorzugsweise am Boden des Schmelzgefäßes angeordnete Blasdüse oder Bubblingdüse aufweisen.

Bestehen die Wände des Schmelzaggregates aus Skullwänden und gekühlten Elektroden, dann kann der obere Teil des Schmelzaggregates zum Schutz der Metallrohre des Skulls an der Schmelzbadoberfläche in Form eines Pilzes ausgestaltet sein, wie beispielsweise in der DE 199 39 772 beschrieben ist.

Für diskontinuierliches Schmelzen, sowie für eine vollständige Entleerung des Schmelzgefäßes, um etwa Wartungsarbeiten durchzuführen, kann im Boden des Schmelzaggregates vorteilhaft mindestens eine Auslaufdüse angebracht werden.

Mit Vorteil kann die Vorrichtung außerdem eine gekühlte Brücke aufweisen, welche vorzugsweise so angeordnet ist, daß sie von oben durch die Schmelzbadoberfläche in die Schmelze eintaucht. Damit wird es möglich, in nur einem Schmelzaggregat kontinuierlich sowohl das Gemenge einzuschmelzen, als auch die Schmelze zu läutern. In diesem Fall kann das Schmelzaggregat durch eine Brücke aus wassergekühlten Metallrohren in einen Einschmelzteil und einen Läuterteil getrennt werden.

Wie beim Schmelzen mit Hochfrequenz muß auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren die Schmelze erst auf eine Temperatur erhitzt werden, bei der die elektrische Leitung der Schmelze hoch genug ist, damit zur konduktiven Beheizung die Schmelze so gut ankoppelt, daß die eingekoppelte Energie höher ist, als die über die gekühlten Wände und Elektroden abgegebene Energie.

Beim Schmelzen mit Hochfrequenz reicht es in den meisten Fällen aus, daß ein kleiner Teil im Inneren der Schmelze eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit besitzt und gut ankoppelt. Die Hochfrequenzenergie konzentriert sich in diesem Bereich und erhitzt ihn weiter, mit der Folge, daß sich dieser Bereich ständig ausbreitet, bis er das ganze Schmelzaggregat ausfüllt.

Das erfindungsgemäße Schmelzverfahren beruht auf der konduktiven Beheizung der Schmelze, was bedeutet, daß zwischen den Elektroden eine elektrische Leitung über die Schmelze hergestellt werden muss. Es reicht somit nicht aus, daß im Innern der Schmelze ein Schmelzbereich vorhanden ist, in dem die elektrische Leitung hoch genug ist. Vielmehr muß der Widerstand der Schmelze zwischen den Elektroden zumindest in einem Bereich ausreichend erniedrigt werden, bzw. die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze so weit erhöht werden, daß die angelegte Spannung, beziehungsweise die Stromdichte ausreicht, um die Schmelze gegen den Wärmeverlust der Wände aufzuheizen. Dazu kann die erfindungsgemäße Vorrichtung außerdem vorteilhaft eine Einrichtung zur Zusatzbeheizung aufweisen. In geeigneter Weise kann die Einrichtung zur Zusatzbeheizung dabei beispielsweise zumindest einen fossilen Brenner und/oder zumindest einen Plasmabrenner und/oder zumindest ein Widerstandsheizelement und/oder zumindest einen Infrarot-Strahler umfassen.

Wird die Zusatzbeheizung beispielsweise oberhalb des Tiegels angebracht, so muß zum Anfahren des konduktiven Heizprozesses allerdings erst ein Schmelzpfad mit ausreichender

5 elektrischer Leitfähigkeit so stark erwärmt werden, bis die Leitfähigkeit so hoch ist, daß ein hinreichend großer Strom fließt. Hier können etwa bei großen Tiegeln entsprechend leistungsstarke Zusatzbeheizungen eingebaut werden.

10 Auch bei Einsatz einer Zusatzbeheizung kann aufgrund der Wärmeabfuhr über die Elektroden selbst ohne aktive Kühlung der Elektroden deren Schmelzkontaktfläche kälter als innere Bereiche der Schmelze oder des Schmelzgutes bleiben, so daß durch diesen Effekt der Stromfluß insbesondere in der Nähe

15 der Elektrodenoberfläche behindert wird. Es ist daher vorteilhaft, wenn auch wenigstens eine der Elektroden eine Heizvorrichtung umfasst, mit der das Schmelzgut an der Elektrodenoberfläche, beziehungsweise die Schmelzkontaktfläche direkt beheizt werden kann. Die

20 Elektrode kann so selbständig zumindest zeitweise beheizt werden, bis beispielsweise die Heizleistung durch konduktive Heizung der Schmelze ausreichend hoch ist.

Außerdem ergibt sich oft bei einer Wiederinbetriebnahme das

25 Problem, daß zwischen Schmelzkontaktmaterial und erkaltetem Schmelzgut ein isolierender Luftspalt vorhanden ist. Dieser entsteht durch Schrumpfung des Schmelzguts beim Erkalten. Wird an die Elektrode bei vorhandenem Luftspalt eine Spannung angelegt, so kann es lokal zur Überbrückung des Luftspalts

30 durch Ionisierung und zum Durchschießen des Stroms an dieser Stelle kommen, was zur Beschädigung des Schmelzkontaktmaterials führen kann. Mit einer direkten Beheizung der Elektroden kann das Schmelzgut im Bereich des Schmelzkontaktmaterials angeschmolzen werden und kommt so

35 wieder unter Bildung einer großflächigen leitfähigen Brücke

wieder in elektrischen Kontakt mit der Elektrode.

Als Heizvorrichtung ist insbesondere eine ohmsche Heizeinrichtung geeignet. Diese kann bevorzugt eine Stromquelle umfassen, welche an das Schmelzkontaktmaterial oder ein darunter befindliches leitfähiges Material angeschlossen ist und so einen Strom durch das Schmelzkontaktmaterial oder das darunter befindliche leitfähige Material treibt.

Die Heizvorrichtung kann jedoch auch alternativ oder zusätzlich eine Vorrichtung zur Erwärmung eines Kühlfluids umfassen. Auf diese Weise kann die Elektrode mit demselben Fluid sowohl beheizt als auch gekühlt werden. Dementsprechend muß die Heizeinrichtung auch nicht direkt unterhalb der Schmelzkontaktfläche angeordnet werden, sondern kann an nahezu beliebiger geeigneter Stelle im Kühlfluid-Kreislauf angebracht sein. Die Heizvorrichtung kann beispielsweise eine elektrische und/oder fossile Heizung und/oder eine Abwärmeheizung umfassen.

Eine Vorheizung durch Erwärmung des Kühlmittels insbesondere mittels elektrischer Energie, Abwärme oder vorzugsweise mit fossilen Energieträgern ist beispielsweise auch vorteilhaft, um den Niederschlag von Feuchtigkeit auf den Elektroden zu verhindern, indem diese über den Taupunkt der Oberofenatmosphäre der Schmelzvorrichtung erwärmt wird. Feuchtigkeit kann beispielsweise in der Schmelzvorrichtung in größeren Mengen während der Inbetriebnahme des Aggregates entstehen, wenn das Schmelzgut mit fossilen Brennern vorerhitzt wird.

Es gibt eine Reihe von Verfahren, die Schmelze soweit zu erhitzen, daß sie eine Temperatur erreicht, bei der die elektrische Leitung der Schmelze ausreichend ist, um ein

Weitererhitzen mit Hilfe der Elektroden oder die Ankopplung der Schmelze zu ermöglichen.

5 So kann zur Inbetriebnahme des Schmelzaggregates das  
erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft einen Startvorgang  
umfassen, bei welchem im Schmelzgefäß befindliches festes  
Schmelzgut eingeschmolzen oder in das Schmelzgefäß  
schmelzflüssig eingefüllt wird. Im folgenden soll  
beispielhaft ein solches Anfahren der Schmelze beschrieben  
10 werden. Die Erfindung ist jedoch nicht auf dieses spezielle  
Anfahrverfahren beschränkt.

Zum Anfahren oder Starten des erfindungsgemäßen  
Schmelzaggregates werden beispielsweise Scherben oder Gemenge  
15 in das Schmelzaggregat eingelegt und mittels eines oder  
mehrerer fossiler Brenner, Plasmabrenner oder Infrarot-  
Beheizung im Oberofen soweit aufgeschmolzen, bis eine  
ausreichende elektrische Leitung zum Start der direkten  
elektrischen Beheizung gegeben ist. Die technische Grenze  
20 stellt dabei die maximale Spannung dar, die von einer  
Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom, wie etwa einem  
Mittelfrequenzumrichter bereitgestellt werden kann. Um einen  
Stromfluss bei geringerem Übergangswiderstand zu ermöglichen,  
können die Elektroden während des Startvorgangs ohne oder nur  
25 mit geringer Kühlung betrieben oder widerstandsbeheizt  
werden.

Um den Startvorgang oder das Anfahren zu erleichtern, können  
die Elektroden auch verschiebbar angeordnet sein. Dabei  
30 können die Elektroden die Elektroden vor dem Startvorgang  
zusammengeschoben werden, so daß das Volumen zwischen den  
Schmelzkontaktoberflächen verringert wird. Dieses kleinere  
Schmelzvolumen kann dann leicht auf eine Temperatur gebracht  
werden, bei der die Schmelze eine für die konduktive Heizung  
35 durch die Elektroden ausreichende Leitfähigkeit aufweist. Die



Elektroden können während des Startvorgangs wieder auf ihre Betriebspositionen auseinandergezogen werden, wobei das Schmelzvolumen vergrößert wird.

5 Mit einer Heizvorrichtung können die Elektroden und/oder gekühlten Wände während des Anfahrprozesses, beziehungsweise des Startvorgangs soweit erwärmt werden, daß deren Temperatur oberhalb des Taupunktes der Oberofenatmosphäre liegt. Auf diese Weise wird verhindert, daß sich Feuchtigkeit auf den  
10 Elektroden niederschlägt, die dann als Wasserfilm bei Inbetriebnahme der Elektroden zu Kurzschlüssen führt. Besonders bevorzugt umfaßt eine solche Vorheizung eine Kühlwasser-Vorheizung.

15 Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung werden zur Einschmelzung des Schmelzguts Startelektroden in das Schmelzgefäß eingeführt und über die Startelektroden wird ein Strom durch das Schmelzgut geleitet. Auf diese Weise kann dann zunächst in einem kleinen Bereich des Schmelzaggregates  
20 eine Schmelze erzeugt werden. Die Startelektroden können außerdem während des Startvorgangs auseinandergefahren werden, so daß sich der Bereich mit geschmolzenem Schmelzgut vergrößert. Dieser sich während des Startvorgangs vergrößernde Bereich geschmolzenen Materials kann dann  
25 schließlich in Kontakt mit den eigentlichen Elektroden oder geschmolzenen Bereichen in deren Umgebung kommen, die beispielsweise mittels einer Heizvorrichtung zur Heizung der Elektroden aufgeschmolzen wurden. Auf diese Weise kann ein Schmelzpfad mit einer ausreichenden Leitfähigkeit des  
30 Schmelzguts zwischen den Elektroden erreicht werden, so daß die konduktive Beheizung der Schmelze in Betrieb genommen werden kann.

Mit steigender Temperatur der Schmelze nimmt die elektrische Leitfähigkeit der Schmelze exponentiell zu und es kann  
35 mittels eines Transformators auf eine niedrigere Spannung

umgeschaltet werden, da zur Einbringung einer hohen elektrischen Leistung ein starker Strom benötigt wird.

Parallel zur Steigerung der elektrischen Leistungseinbringung kann die Leistung der Oberofenbeheizung mit der steigenden elektrischen Leitfähigkeit der Schmelze entsprechend erniedrigt werden. Da die elektrische Leitfähigkeit der Schmelzen, wie zum Beispiel bei Glasschmelzen sehr rasch mit der Temperatur ansteigt, kann es leicht zu einem Durchbrennen der Elektroden kommen. Die Kühlung der Elektroden und die Heizleistung kann daher in Abhängigkeit von der Temperatur und der Zusammensetzung der Schmelze genau geregelt werden.

Erfindungsgemäß kann dies dadurch erreicht werden, daß die Temperaturen der Elektroden genau überwacht und mit Hilfe einer Regelung und dem in die Elektroden eingebauten Kühlsystem die Temperatur der Elektroden genau eingestellt wird. Zum einen dürfen die Elektroden der Schmelze nicht zu viel Wärme entziehen, und zum anderen dürfen sie nicht so heiß werden, daß sie korrodieren oder gar durchbrennen. Bestehen die Wände des Schmelzaggregates aus Skullwänden, dann können die Skullwände mit keramischen Materialien oder mit Schlicker abgedeckt werden. Der Schlicker kann beispielsweise aus gemahlenem Quarzgut bestehen. Durch die Abdeckung der Skullwände wird in der Anfahrphase vermieden, daß ein zu hoher Wärmeverlust durch die Wände erfolgt.

Weiterhin ist auch zur Inbetriebnahme des Schmelzaggregats, beziehungsweise für den Startvorgang ein Umschmelzen von einer Schmelze mit hoher elektrischer Leitfähigkeit auf eine Schmelze mit niedriger elektrischer Leitfähigkeit möglich.

Es wurde gefunden, daß in dem Schmelzaggregat, beziehungsweise dem Schmelzgefäß eine starke Konvektion einsetzt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze

im Randbereich des Schmelzgefäßes und der Schmelze im Mittenbereich des Schmelzaggregates mehr als 150° K, vorzugsweise mehr als 250° K beträgt. Eine starke Konvektion ist vorteilhaft, um das Schmelzmaterial umzuwälzen, so daß die gesamte Schmelze, oder wenigstens der größte Teil davon durch den Bereich mit der gegenüber der Elektrodenoberfläche erhöhten Temperatur läuft. Bei einer Temperatur der Schmelzkontaktfläche der Elektroden von 1500°C kann die Schmelzentemperatur dementsprechend in einem vorzugsweise in der Mitte des Schmelzgefäßes angeordneten Bereich über 1650 °C, vorzugsweise über 1750 °C liegen.

Die Möglichkeit, erfindungsgemäß eine Schmelze auf hohe Temperaturen auch oberhalb der Belastbarkeitsgrenzen von Elektroden- und Wandungsmaterial erhitzen zu können, bringt eine Reihe von Vorteilen. Zum einen können noch hochschmelzende Gläser, Glaskeramiken, Keramiken oder Kristalle geschmolzen werden. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß die chemischen Reaktionen und physikalischen Vorgänge bei höheren Temperaturen deutlich schneller ablaufen als bei niedrigeren Temperaturen. So laufen sowohl die Einschmelzprozesse als auch die Läutervorgänge bei höheren Temperaturen deutlich schneller ab. Eine Temperaturerhöhung um 200 °K bewirkt eine Beschleunigung der chemischen Reaktionen und der physikalischen Prozesse um einen Faktor 3 oder sogar höher. Dadurch können beispielsweise eingeschlossene Blasen im Schmelzgut schneller entfernt werden. So ist die Aufstiegsgeschwindigkeit von Blasen in einer Schmelze gegeben durch:

$$v = \frac{2 \rho \cdot g \cdot r^2}{9 \eta(T)}$$

Dabei bezeichnen  $\rho$  die Dichte des Schmelzguts,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $r$  den Blasenradius und  $\eta(T)$  die temperaturabhängige dynamische Viskosität. Wird die Temperatur der Schmelze gesteigert, so steigt aufgrund der thermischen Expansion der Blasenradius, die Eindiffusion von Gasen aus der Schmelze in die Blase wird beschleunigt und die Viskosität der Schmelze verringert sich. Um die chemischen und die physikalischen Reaktionen zusätzlich zu beschleunigen ist es vorteilhaft, wenn, wie oben beschrieben, in dem Schmelzaggregat eine starke Konvektion der Schmelze stattfindet.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird für eine kontinuierliche Verarbeitung des Schmelzgutes kontinuierlich Schmelzgut dem Schmelzgefäß zu- und abgeführt. Insbesondere kann das Schmelzgut auch in geschmolzener Form über einen Zulauf zugeführt und in ebenfalls geschmolzener Form über einen Ablauf abgeführt werden. Eine solche Ausgestaltung des Verfahrens, beziehungsweise einer entsprechenden Vorrichtung ist besonders für das Läutern einer Schmelze in einem kontinuierlichen Produktionsprozeß günstig, da sich eine entsprechend als Läuteraggregat ausgestaltete Vorrichtung einfach beispielsweise einem Einschmelzofen nachschalten läßt, wobei die Schmelze aus dem Ablauf nach dem Läutern vom Aggregat abgezogen wird.

Es kann außerdem vorteilhaft sein, in dem Schmelzaggregat die Elektroden so anzuordnen, daß sich die Elektroden in Flussrichtung oder senkrecht dazu gegenüber stehen. Findet eine kontinuierliche Schmelze statt, etwa bei der Verwendung der Vorrichtung als Läuteraggregat mit kontinuierlichem Zu- und Abfluß, so können die Elektroden so eingebaut sein, daß der elektrische Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen entlang der Hauptfließrichtung der Schmelze,

oder senkrecht dazu fließt. Diese beiden Anordnungen, beziehungsweise Stromflußrichtungen sind unter anderem vorteilhaft, um das Ausbilden geeigneter Konvektionswalzen in der Schmelze zu fördern, mit denen das Schmelzgut durch das Schmelzgefäß transportiert wird. Besonders günstig ist eine Ausbildung einer Konvektionswalze, welche mit Rotationsachse senkrecht zur Hauptfließrichtung der Schmelze rotiert. Welche der beiden Elektrodenanordnungen, in oder senkrecht zur Hauptfließrichtung der Schmelze gegenüberstehend, günstiger für die Ausbildung einer derartigen Konvektionswalze ist, hängt dabei im einzelnen von der Geometrie des Schmelzgefäßes ab. Förderlich für das Ausbilden einer Konvektionswalze ist auch eine Anordnung der Elektroden im unteren Bereich des Schmelzgefäßes.

Vorteilhaft kann dabei zwischen Schmelzkontaktfläche der Elektroden und einem Bereich der Schmelze im wesentlichen mittig zwischen den Elektroden eine Temperaturdifferenz von mehr als  $150^{\circ}$  K, vorzugsweise von mehr als  $250^{\circ}$  K eingestellt werden. Auf diese Weise wird eine Konvektionswalze in Gang gesetzt, welche das Schmelzgut vom Zulauf zum Ablauf befördert und das Schmelzgut ohne Kurzschlußströmung an der Schmelzbadoberfläche durch das Schmelzgefäß leitet.

Bei dieser gegenüberliegenden Anordnung der Elektroden muss die Schmelze zum Läutern nicht mehr von unten in das Läuteraggregat eingeführt werden, sondern kann vorteilhaft über Zulauf und Ablauf von oben im Bereich der Schmelzbadoberfläche in das Läuteraggregat eingeführt und wieder abgezogen werden. Diese Anordnung ist technisch wesentlich einfacher realisierbar als das Einführen der Schmelze von unten.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beiliegenden

Zeichnungen näher erläutert. Dabei verweisen gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche Teile.

Es zeigen:

5

Fig. 1A bis 1C: Ansichten einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 eine schematische Querschnittansicht einer Elektrode,

10

Fig. 3A bis 3F: schematische Darstellungen von Elektrodenkonfigurationen, Schmelzgefäßformen und Elektrodenbeschaltungen verschiedener Ausführungsformen der Erfindung,

15

Fig. 4 eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 5 gemessene Diagramme von Temperaturen im Schmelzaggregat als Funktion des Heizstroms, und

20

Fig. 6A bis 6C anhand schematischer Querschnitte durch ein Schmelzaggregat Verfahrensschritte eines Startvorgangs.

25

In den Figuren 1A bis 1C sind verschiedene Ansichten einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen dargestellt. Die Vorrichtung ist als Ganzes mit 1 bezeichnet. Fig. 1B zeigt eine Ansicht der Vorrichtung 1 aus Sicht des Pfeils B in Fig. 1A. Fig. 1C stellt eine Aufsicht gesehen in Richtung des Pfeils C in Fig. 1B dar. Die Vorrichtung 1 umfaßt ein als Skulttiegel ausgeführtes Schmelzgefäß 3. Der Tiegel ist aus Rohren 7 gefertigt, durch die im Betrieb der Vorrichtung zur Kühlung des Gefäßes Kühlmittel geleitet wird. Als Material für die Rohre ist unter anderem Kupfer aufgrund seiner guten

35

Wärmeleitfähigkeit geeignet. Kupfer weist jedoch andererseits

keine besonders hohe Festigkeit auf, so daß auch Rohre aus hoch mechanisch festem oder temperaturfestem Metall, insbesondere solche aus hochfestem oder warmfestem Stahl geeignet sein können.

5

Um den Wärmeverlust über die Skullwände zu minimieren, können die Wände außerdem mit einer Infrarot-reflektierenden Oberfläche versehen sein. Beispielsweise können dazu die Rohre 7 mit einer Platin- oder Goldbeschichtung versehen sein, die insbesondere auch poliert sein kann, um das Reflexionsvermögen zu erhöhen. Auch Rhodium, Chrom, Nickel oder Palladium, sowie deren Legierungen können dazu eingesetzt werden.

10

15 Am Tiegel im Bereich der Schmelzbadoberfläche ist ein Feuerfestkragen 13 angeordnet, der vorzugsweise aus chemisch resistentem Material gefertigt ist, um Reaktionen an der Dreiphasengrenze zu unterdrücken, die am Rand der Schmelzbadoberfläche zur Oberofenatmosphäre entsteht. Dieser  
20 Kragen kann beispielsweise ein schmelzgegossenes keramisches Material umfassen. In den Feuerfestkragen ist ein Zulauf 9 und ein Ablauf 10 mit Schmelzgutrinne 11 eingearbeitet, über welche das Schmelzgut im Bereich der Schmelzbadoberfläche des Schmelzgefäßes kontinuierlich zu- und abgeführt wird. Am  
25 Boden 14 des Schmelzgefäßes ist außerdem ein Bodenablauf 15 angeordnet, durch welchen der Tiegel entleert werden kann. Anders als in der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform können die Skullrohre auch aus der Schmelzbadoberfläche herausragen und zumindest im Bereich der Schmelzbadoberfläche zur  
30 Erhöhung der chemischen Resistenz beispielsweise kunststoffbeschichtet sein. Als Kunststoff ist dazu insbesondere Teflon geeignet.

35

An der Seitenwandung dieser Ausführungsform der Vorrichtung 1 sind in entsprechenden Aussparungen in der Seitenwandung 16

des Schmelzgefäßes zwei Elektroden 5 angeordnet, die Kühlmittelanschlüsse 6 als Bestandteil einer Einrichtung zur Kühlung der Elektroden aufweisen und über welche Kühlmittel durch Kanäle im Inneren der Elektroden geleitet wird. Die Elektroden 5 ersetzen durch die erfindungsgemäße Anordnung einen Teil der Seitenwandung 16 des Schmelzgefäßes 3, wobei die Elektroden 5 außerdem gegenüberliegend am Schmelzgefäß angebracht sind. Um die Stromdichte im Schmelzkontaktmaterial der Elektroden gering zu halten, sind die Elektroden 5 großflächig gehalten. Bevorzugt ersetzen die Elektroden 5 dabei mindestens 15 % der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes im Bereich der Schmelze.

Zum Heizen der Schmelze wird über die Elektroden 5 ein Heizstrom durch die Schmelze geschickt, wobei die Elektroden 5 gegenüber dem Schmelzgefäß 3 isoliert befestigt sind, so daß kein Strom über die Wandungen des Schmelzgefäßes fließen und die Heizleistung mindern kann. Um im Falle eines Defektes der Isolierung dennoch die Kurzschlußfestigkeit zu erhalten, können außerdem auch die Wandelemente des Schmelzgefäßes in zueinander isolierte Segmente aufgeteilt sein. Die Elektroden sind ferner auf denselben Seiten der Vorrichtung 1 wie Zulauf 9 und Ablauf 10 der Schmelze angeordnet, so daß der Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen in Richtung der Hauptfließrichtung der Schmelze oder entgegengesetzt dazu fließt.

Die Elektroden sind großflächig dimensioniert, so daß der aus den Elektroden in die Schmelze austretende Strom an keiner Stelle der Schmelzkontaktfläche eine Stromdichte von  $5 \text{ A/cm}^2$  überschreitet. Über die Elektroden 5 wird durch die im Schmelzgefäß 3 befindliche Schmelze mittels einer Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom ein Heizstrom, bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50



kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz bis 10 kHz geleitet.

Fig. 2 zeigt eine schematische Querschnittansicht einer Elektrode 5. Die Elektrode 5 weist elektrische Zuleitungen 52 auf, welche mit dem Schmelzkontaktmaterial 53 verbunden und an eine Stromversorgung, bevorzugt einen Mittelfrequenzumsetzer zur konduktiven Heizung der Schmelze anschließbar sind. Das Schmelzkontaktmaterial 53 der Elektrode 5 weist eine Schmelzkontaktfläche 51 auf, die in Berührung mit der Schmelze steht. Um das Schmelzkontaktmaterial 53 in der Schmelze gegen den hydrostatischen Druck der Schmelze zu stabilisieren, ist das Schmelzkontaktmaterial 53 an einer Stützvorrichtung 54 befestigt. Die Stützvorrichtung 54 kann beispielsweise aus Feuerfest-Keramik gefertigt sein. Außerdem ist die Stützvorrichtung 54 in dieser Ausführungsform noch mit Halteblechen 56 versehen, welche zur Montage und Befestigung der Elektrode 5 dienen. Mit den Halteblechen wird eine Befestigung der Elektrode am Schmelzaggregat, beziehungsweise dem Schmelzgefäß realisiert, die ein leichtes Auswechseln der Elektrode 5 ermöglicht.

Die Elektrode 5 wird so in ein Schmelz- oder Läuteraggregat integriert, daß die Schmelzkontaktfläche 51 einen Wandbereich des Schmelzgefäßes bildet. Das Schmelzkontaktmaterial 53 ist bevorzugt aus Refraktärmetall, wie Platin oder einer Platinlegierung gefertigt, welches unterhalb von 1600 °C nur geringe Neigung zu Korrosion und Migration von Elektrodenmaterial in die Schmelze zeigt. Für einige Schmelzen ist auch eine leitende, feuerfeste Keramik, wie beispielsweise SnO<sub>2</sub>-Keramik geeignet.

Die Stützvorrichtung 54 weist eine Vielzahl von Anschlüssen 6 auf, die mit FluidleitungsKanälen im Inneren der

Stützvorrichtung 54 verbunden sind. Dabei ist eine erste Gruppe von Anschlüssen 61 mit einem ersten Kühlkreis und eine zweite Gruppe 62 von Anschlüssen mit einem zweiten Kühlkreis verbunden. Bevorzugt ist dabei der erste Kühlkreis eine Luftkühlung und der zweite Kühlkreis eine Wasserkühlung. Die Fluidleitungs Kanäle des ersten Kühlkreises im Inneren der Stützkonstruktion 54 sind außerdem so angeordnet, daß das Kühlmittel in direkten Kontakt mit dem Schmelzkontaktmaterial auf der gegenüberliegenden Seite der Schmelzkontaktfläche 51 kommt. Durch diese Kühlkreise sind die Kühlleistungen der Elektroden separat regelbar oder einstellbar.

Die Elektrode weist außerdem eine ohmsche Heizeinrichtung auf. Diese umfaßt eine Stromquelle 33, welche über Zuleitungen 34 mit dem Schmelzkontaktmaterial 53 verbunden ist. Zur ohmschen Beheizung der Elektrode 5 kann so ein Strom durch das Schmelzkontaktmaterial 53 geleitet werden, welches sich daraufhin aufheizt. Diese Art der Heizung nach der Art einer Querbestromung des Schmelzkontaktmaterials 53 ist besonders vorteilhaft, da auf diese Weise besonders nahe an der Schmelze geheizt wird und die Heizung so nur eine sehr geringe Trägheit besitzt.

Die Figuren 3A bis 3F zeigen schematische Darstellungen von möglichen Elektrodenkonfigurationen, Schmelzgefäßformen und Elektrodenbeschaltungen verschiedener Ausführungsformen der Erfindung.

Fig. 3A zeigt eine erste Ausführungsform einer Vorrichtung, die, ähnlich wie die anhand der Figuren 1A bis 1C erläuterte Ausführungsform, ein Schmelzgefäß 3 mit im wesentlichen quadratischem Grundriss aufweist. Die Seitenwandungen 16 des Schmelzgefäßes sind dabei jeweils rechtwinklig zum Boden angeordnet, so daß das Schmelzgefäß 3 eine quaderförmige Gestalt hat. Die Elektroden 501 und 502 sind an

gegenüberliegenden Seiten des Schmelzgefäßes angebracht, so daß der Heizstrom auf der gesamten Breite des Schmelzgefäßes die Schmelze zwischen den Elektroden im Schmelzgefäß 3 durchqueren muß, wodurch eine gleichmäßige Verteilung der Heizleistung in der Schmelze erreicht wird. Zur Beheizung der Schmelze sind die Elektroden 501 und 502 an die Pole einer Wechselstromquelle 18 als Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom angeschlossen und bilden ein Elektrodenpaar.

Die Elektroden 501 und 502 sind ferner im unteren Teil des Schmelzgefäßes unterhalb der Schmelzbadoberfläche im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes angeordnet. Dadurch sind die Elektroden 501, 502 immer ganz in die Schmelze eingetaucht und eine für Korrosion kritische Dreiphasengrenze wird vermieden. Durch die Anordnung im unteren Bereich des Schmelzgefäßes wird außerdem der Bereich mit gegenüber den Schmelzkontaktflächen der Elektroden erhöhter Temperatur vergrößert, da die Wärmeableitung von der Schmelzbadoberfläche im oberen Teil deutlich geringer als die Wärmeableitung über die Wandungen und Elektroden ist.

In Fig. 3B ist eine Ausführungsform der Vorrichtung mit zwei gegenüberliegenden, schräg angeordneten Seitenwänden 161 und 162 des Schmelzgefäßes dargestellt. Die Elektroden 501 und 502 nehmen jeweils einen ebenen Bereich dieser Seitenwände ein. Durch die schräge Anordnung der Elektroden zueinander legt der Strom im oberen Bereich des Schmelzgefäßes, wo die Schmelze eine höhere Temperatur und damit verbunden eine bessere Leitfähigkeit aufweist, eine größere Strecke zurück. Auf diese Weise wird erreicht, daß die ohmschen Widerstände entlang der verschiedenen Wegstrecken zumindest teilweise einander angeglichen werden, was zu einer homogenen Verteilung der Heizleistung in der Schmelze, sowie auf der Elektrodenoberfläche führt.

Fig. 3C zeigt eine Ausführungsform der Vorrichtung 1 mit mehreren Elektrodenpaaren. Jeweils zwei der Elektroden Elektroden 501, 502, 503 und 504, die auf gegenüberliegenden  
 5 Seiten der Wandung 16 angeordnet sind, sind dabei zu einem Elektrodenpaar zusammengefaßt, welches jeweils von einer Wechselstromquelle 18, beziehungsweise 20 versorgt wird. Dabei sind die Elektroden 501 und 502 an die Wechselstromquelle 18 und die Elektroden 503 und 504 an die Wechselstromquelle 20 angeschlossen.

Die Elektrodenkonfiguration dieser Ausführungsform ist besonders geeignet, um Schmelzen mit hoher elektrischer Leitfähigkeit zu beheizen, da durch den unabhängigen Betrieb  
 15 mehrerer Elektrodenpaare die Elektrodenfläche effektiv vergrößert wird und sich damit hohe Stromdichten innerhalb der Schmelze zur Erreichung ausreichender Heizleistungen erreichen lassen. Die Elektrodenpaare müssen jedoch so angeordnet werden, daß ein Nebenschluß über elektrisch  
 20 leitende Wandelemente, im speziellen Schmelzgefäßteile oder Elektroden vermieden wird.

Fig. 3D zeigt eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung mit mehreren Elektrodenpaaren. Im Gegensatz zu der anhand von  
 25 Fig. 3C erläuterten Ausführungsform der Vorrichtung sind hier die Elektroden jedoch nicht nebeneinander, sondern übereinander angeordnet. Dabei bilden die zwei Elektroden 501 und 502 ein Elektrodenpaar, welches von der Wechselstromquelle 18 versorgt wird und näher an der  
 30 Schmelzbadoberfläche oberhalb der von der Wechselstromquelle 20 versorgten und auf den gleichen Seiten des Schmelzgefäßes 3 angebrachten Elektroden 503 und 504 angeordnet ist. Eine derartige Anordnung ist besonders geeignet, durch separaten Betrieb der übereinander angeordneten Elektrodenpaare die  
 35 räumliche Temperaturverteilung in der Schmelze zu

beeinflussen und so beispielsweise die Form und Ausdehnung einer oder mehrerer Konvektionswalzen in der Schmelze zu steuern.

5 In Fig. 3E ist eine Ausführungsform mit einer ringförmigen Elektrode 501 und einer zweiten Elektrode 502 in Form einer Bodenelektrode dargestellt. Die Elektrode 501 nimmt dabei einen ringförmigen Bereich der Seitenwandung 16 des zylinderförmigen Schmelzgefäßes 3 mit kreisförmigem oder  
10 ovaalem Grundriss ein. Anstelle des dargestellten kreisförmigen oder ovalen Grundrisses kann dieser auch die Gestalt eines Vielecks aufweisen.

Selbstverständlich können auch die anderen beispielhaft  
15 dargestellten Ausführungsformen eine oder mehrere Bodenelektroden aufweisen. Derartige Bodenelektroden sind unter anderem vorteilhaft zur gezielten Abgabe der Heizleistung im unteren Bereich des Schmelzgefäßes. Dadurch wird eine optimale Volumenausnutzung gewährleistet,  
20 beziehungsweise Totvolumina vermieden.

Die in Fig. 3F dargestellte Ausführungsform der Vorrichtung umfaßt ebenfalls wie die in Fig. 3E gezeigte Ausführungsform ein zylinderförmiges Schmelzgefäß 3 mit kreisförmigem oder  
25 ovaalem Grundriss. Die Elektroden 501 und 502 sind in der zylinderförmigen Seitenwandung angeordnet und bilden jeweils einen Bereich der Seitenwandung 16 in Form eines Ringsegments. Ein zylinderförmiges Schmelzgefäß, wie in den Ausführungsformen der Figuren 3E und 3F gezeigt ist, weist  
30 gegenüber quaderförmigen Schmelzgefäßen eine geringere Oberfläche der Innenwandung auf, wodurch die Ableitung von Wärmeenergie reduziert wird. Jedoch ergeben sich bei ringsegmentförmigen Elektroden stark unterschiedliche Widerstandsstrecken durch die Schmelze. Dies kann  
35 beispielsweise dadurch kompensiert werden, indem die

Elektroden beispielsweise nochmals in separat betriebene Segmente unterteilt werden.

Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform der  
5 erfindungsgemäßen Vorrichtung 1, die insbesondere als  
kontinuierliches Einschmelzaggregat ausgelegt ist. Das  
Schmelzgefäß 3 ist auch bei dieser Ausführungsform bevorzugt  
als Skulttiegel ausgeführt. Die Elektroden 5 sind auf  
gegenüberliegenden Seiten des Schmelzgefäßes 3 angeordnet und  
10 bilden ebene Bereiche der Seitenwandung 16.

Auf dem Schmelzgefäß 3 ist eine Abdeckung 27 angeordnet in  
welcher sich eine Einlage 30 für die Zugabe von Schmelzgut  
befindet. Die Schmelze wird über einen Ablauf 10 abgeführt.  
15 Im Ablauf ist außerdem ein Gasbrenner angeordnet, welcher ein  
Erkalten der Schmelze beim Abführen durch den Ablauf  
verhindert. Zwischen Ablauf und Einlage ist außerdem eine  
gekühlte Brücke 26 so angeordnet, daß sie von oben durch die  
Schmelzbadoberfläche 24 in die Schmelze 22 eintaucht. Damit  
20 wird vermieden, daß noch nicht aufgeschmolzenes Einschmelzgut  
direkt in den Ablauf 10 geraten kann, sondern hinreichend  
lange im Schmelzgefäß 3 verbleibt. Im Oberofen oberhalb der  
Schmelzbadoberfläche 24 ist außerdem ein Gasbrenner  
angeordnet, mit welchem beispielsweise beim Anfahren die  
25 Schmelze 22 auf eine hinreichende Temperatur vorgeheizt  
werden kann, bis sie eine für die konduktive Beheizung  
ausreichende Leitfähigkeit aufweist. Durch das konduktive  
Heizen mit den Elektroden 5 und dem gleichzeitigen Kühlen der  
Skullwände und der Elektroden 5 kommt es zu einem  
30 Temperaturgefälle innerhalb der Schmelze vom Mittenbereich  
hin zu den gekühlten Wandungen. Dadurch entsteht im  
Mittenbereich der Schmelze 22 eine heiße Zone 23, deren  
Temperatur durch das Zusammenwirken von Kühlung und  
Heizleistung so eingestellt werden kann, daß sie mehr als  
35 150° K, vorzugsweise mehr als 250° K höher ist als die

Elektrodenoberflächen. Dadurch entsteht in der Schmelze außerdem eine starke Konvektionsströmung unter Ausbildung einer oder mehrerer Konvektionswalzen 25. Auf diese Weise wird das Schmelzgut durch das Schmelzgefäß durchgeführt und es werden Totzonen in der Schmelze 22 vermieden, in denen das Schmelzgut zu lange im Schmelzgefäß verbleibt. Die Konvektion kann des weiteren durch eine Blasdüse 32 unterstützt werden, durch die beispielsweise Sauerstoff oder Edelgase in die Schmelze 22 eingeblasen werden können.

10

Fig. 5 zeigt gemessene Diagramme von Temperaturen als Funktion des Heizstroms. Als Schmelzgut wurde alkalifreies Displayglas verwendet. Die gepunktet dargestellte Kurve zeigt die Abhängigkeit der Temperatur in der heißen Zone 23 der Schmelze. Die mit einer durchgezogenen Linie dargestellte Meßkurve gibt die Temperaturmeßwerte an der Schmelzbadoberfläche 24 und die gestrichelt dargestellte Meßkurve die Meßwerte an der Elektrodenoberfläche wieder. Dabei wurde für die Elektrode eine Kühlung mit zwei Kühlkreisen verwendet. Einer der Kühlkreise wurde dazu mit Luft als Kühlmittel betrieben, die über Fluidleitungskanäle direkt mit einer gut wärmeleitfähigen Platte, auf welcher das Schmelzkontaktmaterial angeordnet ist, in Berührung kommt. Die Meßkurven zeigen, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Temperaturdifferenz zwischen heißer Zone 25 und Elektrodenoberfläche von 242 °C erreicht wurde. Dabei läßt sich die Temperaturdifferenz unter anderem auch dadurch noch vergrößern, indem der Kühlluft Wasser zur Bildung eines Aerosols zugesetzt wird..

30

In den Figuren 6A bis 6c sind anhand schematischer Querschnitte durch ein Schmelzaggregat 1 Verfahrensschritte eines Startvorgangs, beziehungsweise einer Inbetriebnahme dargestellt. Fig. 6A zeigt dazu den Anfangszustand, bei welchem das Schmelzgefäß 3 des Schmelzaggregates 1 mit festem

35

Schmelzgut 35 befüllt ist. Das Schmelzgut 35 kann beispielsweise als Scherben oder Gemenge zugegeben sein.

Als nächstes werden, wie in Fig. 6B gezeigt ist,  
5 Startelektroden 37 und 39 in das Schmelzgut eingeführt. Die Startelektroden 37 und 39 sind mit einer Stromquelle oder Stromversorgung 41 verbunden. Zwischen den Elektroden 37 und 39 wird nun ein kleiner Bereich des Schmelzguts, etwa an der Oberfläche mittels eines fossilen Brenners soweit erhitzt,  
10 bis dessen Leitfähigkeit zur konduktiven Beheizung über die Startelektroden ausreicht. Daraufhin bildet sich durch die konduktive Beheizung zwischen den Elektroden 37 und 39 ein geschmolzener Bereich 220. Die Elektroden 37, 39 können nun langsam auseinandergefahren werden, wobei sich der Bereich  
15 220 zwischen diesen entsprechend vergrößert.

Gleichzeitig können die in der Wandung des Schmelzgefäßes 3 integrierten Elektroden 51 und 52 vorgeheizt werden. Dies geschieht über jeweils eine mit dem Schmelzkontaktmaterial  
20 der Elektroden verbundene Stromversorgung 33, mit welcher eine Querbestromung und somit eine ohmsche Beheizung des Schmelzkontaktmaterials vorgenommen wird. Die Wände des Schmelzgefäßes 3 können auf der der Schmelze zugekehrten Seite zusätzlich mit einem elektrisch und thermisch schlecht  
25 leitenden Material, beispielsweise mit Keramikplatten oder  $\text{SiO}_2$ -Schlicker ausgekleidet sein.

Durch die Querbestromung wird auch im Bereich der Elektroden Schmelzgut aufgeschmolzen und bildet geschmolzene Bereiche  
30 221, beziehungsweise 222. Sind die Startelektroden so weit auseinandergefahren, daß diese in die Nähe der Elektroden 51 und 52 kommen, so kommen schließlich die geschmolzenen Bereiche 221 und 222 jeweils mit dem geschmolzenen Bereich 220 in Kontakt. Auf diese Weise wird ein geschmolzener  
35 Bereich hergestellt, welcher von einer der Elektroden 51 und



52 zur anderen reicht und eine leitfähige Brücke bildet.  
Daraufhin kann die Stromversorgung 18 für die beiden  
Elektroden 51 und 52 in Betrieb genommen und so die Schmelze  
mittels dieser Elektroden mit großer Leistung geheizt werden.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung zur Beheizung von Schmelzen
3	Schmelzgefäß
5, 501,	Elektrode
502	
51	Schmelzkontaktfläche der Elektrode 5
52	Elektrische Zuleitungen
53	Schmelzkontaktmaterial der Elektrode 5
54	Stützkonstruktion für Schmelzkontaktmaterial 53
56	Halteblech
6	Kühlmittelanschlüsse
61	Anschlüsse für ersten Kühlkreis
62	Anschlüsse für zweiten Kühlkreis
7	Rohre des Skulptiegers
9	Zulauf
10	Ablauf
11	Schmelzgutrinne
13	Feuerfestkragen
14	Boden des Schmelzgefäßes 3
15	Bodenablauf
16	Seitenwandung des Schmelzgefäßes 3
161, 162	schräg gestellt Seitenwände des Schmelzgefäßes 3
18, 20, 33	Wechselstromquelle
22	Schmelze
220, 221,	geschmolzene Bereiche
222	
23	heißer Bereich
24	Schmelzbadoberfläche
25	Konvektionswalze
26	Brücke
27	Abdeckung
28, 29	Gasbrenner

30	Einlage
32	Blasdüse
34	Zuleitungen
35	festes Schmelzgut
37, 39	Startelektroden
41	Stromversorgung für Startelektroden 37, 39

Ansprüche

1. Verfahren zur Beheizung einer Schmelze (22) in einem Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden, wobei die Schmelze (22) konduktiv beheizt wird und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden (5, 501, 502) fließt, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) jeweils einen Bestandteil der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Bereich der Schmelze durch den Strom auf eine Temperatur aufgeheizt wird, die oberhalb der Anwendungsgrenztemperatur, insbesondere oberhalb der Schmelz- oder Zersetzungstemperatur des Schmelzkontaktmaterials zumindest einer der Elektroden (5, 501, 502) liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) separat regelbar und/oder einstellbar gekühlt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) in Aussparungen gekühlter Wände des Schmelzgefäßes eingesetzt sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung durch Hindurchleiten mindestens eines Kühlfluides, insbesondere Luft und/oder Wasser durch die Elektroden (5, 501, 502) erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung durch Hindurchleiten eines gasförmigen

Kühlfluides, insbesondere Luft mittels eines Niederdruckgebläses erfolgt.

- 5 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlmittel mit einem Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar durch die Elektroden (5, 501, 502) geleitet wird.
- 10 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) zumindest in einem Bereich gekühlt wird.
- 15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelze (22) mit Wechselstrom, bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz  
20 bis 10 kHz beheizt wird.
- 25 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Wandungen (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) und der Elektroden (5, 501, 502) unterhalb einer Temperatur gehalten werden, bei der die Materialien der Wandungen und der Elektroden von der Schmelze (22) wesentlich chemisch angegriffen werden.
- 30 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Schmelze (22) in zumindest einem Bereich über 1600 °C, vorzugsweise über 1700 °C gehalten wird.
- 35 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der

Schmelzkontaktfläche der zumindest zwei Elektroden (5, 501, 502) unterhalb von 1650° C, vorzugsweise unterhalb von 1500 °C gehalten wird.

- 5 13. Verfahren nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperaturdifferenz zwischen der Schmelze (22) im Randbereich des Schmelzgefäßes (3) und der Schmelze (22) im Mittenbereich des Schmelzaggregates mehr als 150° K vorzugsweise mehr als 250° K beträgt.
- 10 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitfähigkeit der Schmelze (22) bei der Schmelztemperatur eine elektrische Leitfähigkeit in einem Bereich von  $10^{-3}$  bis  $10^2 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , bevorzugt in einem Bereich von  $10^{-2}$  bis  $10^1 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  aufweist.
- 15 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei gegebener Heizleistung der aus den Elektroden (5, 501, 502) in die Schmelze (22) austretende Strom an keiner Stelle eine Stromdichte von 5 A/cm<sup>2</sup> überschreitet.
- 20 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß kontinuierlich Schmelzgut zu- und abgeführt wird.
- 25 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgut in geschmolzener Form über einen Zulauf (9) zugeführt und in geschmolzener Form über einen Ablauf (10) abgeführt wird.
- 30 18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Heizstrom zwischen den Elektroden im wesentlichen entlang der
- 35

Hauptfließrichtung der Schmelze (22) oder senkrecht dazu fließt.

- 5 19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei zwischen Schmelzkontaktfläche der Elektroden und einem Bereich der Schmelze (22) im wesentlichen mittig zwischen den Elektroden eine Temperaturdifferenz von mehr als 150 °K, vorzugsweise von mehr als 250 °K eingestellt wird.
- 10 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß Zulauf (9) und Ablauf (10) das Schmelzgut im Bereich der Schmelzbadoberfläche (24) zu- und abführen.
- 15 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Elektrode (5, 501, 502) wenigstens zeitweise beheizt wird.
- 20 22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Beheizen durch Heizen eines Kühlmittel-Fluids, insbesondere mittels elektrischer Energie, Abwärme oder vorzugsweise mit fossilen Energieträgern erfolgt.
- 25 23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Beheizen der Elektrode durch Querbestromung des Schmelzkontaktmaterials erfolgt.
- 30 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, gekennzeichnet durch einen Startvorgang, bei welchem im Schmelzgefäß ein Schmelzpfad mit ausreichender elektrischer Leitfähigkeit zwischen Elektroden bereitgestellt wird.
- 35 25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden und/oder Teile der Wandung während des

Startvorgangs mit einer Heizvorrichtung soweit erwärmt, daß deren Temperatur oberhalb des Taupunktes der Oberofenatmosphäre liegt.

- 5 26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einschmelzung des Schmelzguts Startelektroden in das Schmelzgefäß eingeführt und über die Startelektroden ein Strom durch das Schmelzgut geführt wird.
- 10 27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Startelektroden während des Startvorgangs auseinandergefahren werden.
- 15 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 27, gekennzeichnet durch das Umschmelzen von einer Schmelze mit höherer elektrischer Leitfähigkeit auf eine Schmelze mit niedrigerer elektrischer Leitfähigkeit.
- 20 29. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden vor dem Startvorgang zusammengeschoben und während des Startvorgangs auseinandergezogen werden.
- 25 30. Vorrichtung (1) zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere zur Hochtemperaturläuterung von Schmelzen, umfassend:
- 30 - ein Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden (14, 16) zur Aufnahme von Schmelzgut, und
- zumindest zwei Elektroden (5, 501, 502) zur konduktiven Beheizung der Schmelze (22),
- dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) jeweils einen Bestandteil der Wände (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.



31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) in Aussparungen in der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) eingesetzt sind,
- 5
32. Vorrichtung nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrodenfläche mehr als 1%, vorzugsweise mehr als 10% und besonders bevorzugt mehr als 15% der Wandungsfläche des Schmelzgefäßes ersetzen.
- 10
33. Vorrichtung nach Anspruch 30, 31 oder 32, gekennzeichnet durch mindestens eine Einrichtung zur Kühlung der Elektroden (5, 501, 502), insbesondere zur Kühlung des Schmelzkontaktmaterials der Elektroden (5, 501, 502).
- 15
34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Einrichtung zur Kühlung der Elektroden (5, 501, 502) eine Fluidfördereinrichtung umfaßt
- 20
35. Vorrichtung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Fluidfördereinrichtung ein Niederdruckgebläse, insbesondere ein Niederdruckgebläse, welches einen Druckunterschied von weniger als 1000 mbar, bevorzugt weniger als 500 mbar, besonders bevorzugt weniger als 150 mbar aufbaut, umfaßt.
- 25
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) Kühlfluidkanäle aufweisen, insbesondere, daß die Kühlfluidkanäle so dimensioniert sind, daß ein ausreichender Kühlfluidfluss bereits bei einer Druckdifferenz des Kühlfluids von 150 mbar oder weniger erreicht wird.
- 30

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Kühlung der Elektroden (5, 501, 502) zumindest zwei Kühlkreise, vorzugsweise für zwei verschiedene Kühlmedien, besonders vorzugsweise für Luft und/oder ein Aerosol und/oder Wasser umfaßt.
38. Vorrichtung nach Anspruch 36 oder 37, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Regelung der Kühlleistung der Elektroden (5, 501, 502).
39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 38, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Kühlung zumindest eines Bereichs der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3).
40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgefäß (3) Skullwände und/oder Keramikwände umfaßt.
41. Vorrichtung nach Anspruch 40, wobei das Schmelzgefäß (3) Skullwände umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß die Skullwände, die vorzugsweise gekühlte metallische Rohre umfassen, auf der der Schmelze (22) zugekehrten Seite mit einem elektrisch schlecht leitenden Material, vorzugsweise in Form von Keramikplatten oder Schlicker, insbesondere  $\text{SiO}_2$ -Schlicker ausgekleidet sind.
42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) elektrisch isoliert angeordnet sind, insbesondere elektrisch isoliert zur Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3).

43. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 42, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Erzeugung von Wechselstrom (18, 20), bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 50 kHz, besonders bevorzugt mit einer Wechselstromfrequenz in einem Bereich von 2 kHz bis 10 kHz.
44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) Platten- und/oder Knopf- und/oder Stabelektroden umfassen.
45. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) ein Schmelzkontaktmaterial aufweisen, welches elektrisch leitfähige Kermamik, wie beispielsweise  $\text{SnO}_2$ -Keramik und/oder Refraktärmetalle, insbesondere hochschmelzende Metalle, insbesondere Wolfram, Molybdän, Tantal, Osmium, Hafnium oder deren Legierungen, und/oder Platinmetalle, insbesondere Platin, Iridium, Rhodium oder deren Legierungen umfaßt.
46. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) ein Schmelzkontaktmaterial aufweisen, welches ein feinkornstabilisiertes Material, insbesondere ein hochfestes Platinmaterial umfaßt.
47. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) und/oder die Wandungen (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) gegen die Schmelze (22) chemisch im wesentlichen resistent sind.

48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Elektroden (5, 501, 502) zumindest zwei Elektrodensegmente aufweist.

5

49. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) vorzugsweise im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3) so angeordnet sind, daß sie sich in Flußrichtung der Schmelze (22) oder senkrecht dazu gegenüberstehen.

10

50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) auswechselbar an der Vorrichtung befestigt sind.

15

51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (5, 501, 502) im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3), vorzugsweise unterhalb der Schmelzbadoberfläche (24) im Bereich der unteren zwei Drittel der Füllhöhe des Schmelzgefäßes (3) angeordnet sind.

20

52. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung mehrere Elektrodenpaare und/oder mehrere Paare von Elektrodensegmenten aufweist.

25

53. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß die Schmelzkontaktflächen (51) der Elektroden (5, 501, 502) schräg zueinander angeordnet sind.

30

54. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 53, dadurch gekennzeichnet, daß in Richtung der Hauptfließrichtung der Schmelze (22) die Elektroden (5, 501, 502)

35

vorzugsweise im unteren Teil des Schmelzgefäßes (3) so angeordnet sind, daß sie sich in Flußrichtung der Schmelze (22) gegenüberstehen.

5 55. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzgefäß (3) einen quadratischen, rechteckigen, vieleckigen, ovalen oder kreisförmigen Grundriß aufweist.

10 56. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 55, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Elektroden (5, 501, 502) einen ebenen oder ringförmigen oder ringsegmentförmigen Bereich der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) bildet.

15 57. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 56, gekennzeichnet durch eine Brücke, welche vorzugsweise so angeordnet ist, daß sie von oben durch die Schmelzbadoberfläche (24) in die Schmelze (22)  
20 eintaucht.

25 58. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 57, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Zusatzbeheizung.

59. Vorrichtung nach Anspruch 58, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Zusatzbeheizung zumindest einen fossilen Brenner (28, 29) und/oder zumindest einen Plasmabrenner und/oder zumindest ein  
30 Widerstandsheizelement und/oder zumindest einen Infrarot-Strahler umfaßt.

35 60. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 59, gekennzeichnet durch zumindest einen Ablauf (15) für die Schmelze (22) am Boden des Schmelzgefäßes (3).

- 5 61. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 60, gekennzeichnet durch zumindest eine vorzugsweise am Boden (14) des Schmelzgefäßes (3) angeordnete Blasdüse (32).
- 10 62. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 61, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Elektroden (5, 501, 502) eine Heizvorrichtung umfaßt.
- 15 63. Vorrichtung nach Anspruch 62, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine ohmsche Heizeinrichtung umfaßt.
- 20 64. Vorrichtung nach Anspruch 62 oder 63, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine Stromquelle (33) umfaßt, welche an das Schmelzkontaktmaterial oder ein darunter befindliches leitfähiges Material angeschlossen ist.
- 25 65. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 62 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine Vorrichtung zur Erwärmung eines Kühlfluids umfaßt.
- 30 66. Vorrichtung nach Anspruch 65, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung eine elektrische und/oder fossile Heizung und/oder eine Abwärmeheizung umfaßt.
- 35 67. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 30 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden verschiebbar angeordnet sind.
68. Vorrichtung (1) zur Beheizung von Schmelzen, insbesondere gemäß einem der Ansprüche 30 bis 67, gekennzeichnet durch

- ein Schmelz- Konditionier- oder Läutergefäß (3) zur Aufnahme von Schmelzgut mit Infrarot-reflektierender Oberfläche.

5 69. Vorrichtung (1) gemäß Anspruch 68, dadurch gekennzeichnet, daß die Infrarot-reflektierende Oberfläche poliert ist.

10 70. Vorrichtung (1) gemäß Anspruch 68 oder 69, dadurch gekennzeichnet, daß die Infrarot-reflektierende Oberfläche mit einer Infrarot-reflektierenden Beschichtung, insbesondere mit einer Gold- Platin-, Nickel-, Chrom- oder Rhodiumbeschichtung versehen ist.

15 71. Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 68 bis 70, dadurch gekennzeichnet, daß die Infrarot-reflektierende Oberfläche die Oberfläche des Schmelzkontaktmaterials zumindest zweier Elektroden (5, 501, 502) zur  
20 konduktiven Beheizung der Schmelze (22) umfaßt, die Bestandteile der Wandung (14, 16) des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.

Zusammenfassung

Um bei konduktiver Beheizung in zumindest einem Bereich einer Schmelze (22) hohe Temperaturen erreichen zu können, sieht  
5 die Erfindung ein Verfahren zur Beheizung einer Schmelze (22) in einem Schmelzgefäß (3) mit gekühlten Wänden vor, wobei die Schmelze (22) konduktiv beheizt wird und wobei der Strom zwischen zumindest zwei gekühlten Elektroden (5, 501, 502) fließt, die jeweils einen Bestandteil der Wandung (14, 16)  
10 des Schmelzgefäßes (3) ersetzen.



Fig. 1A

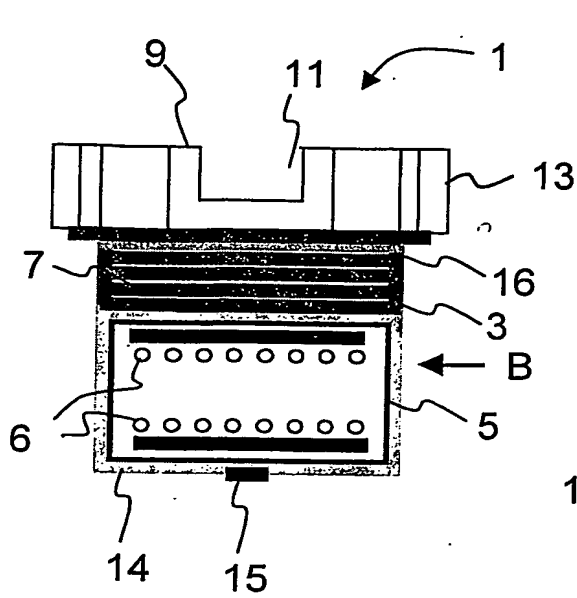


Fig. 1B

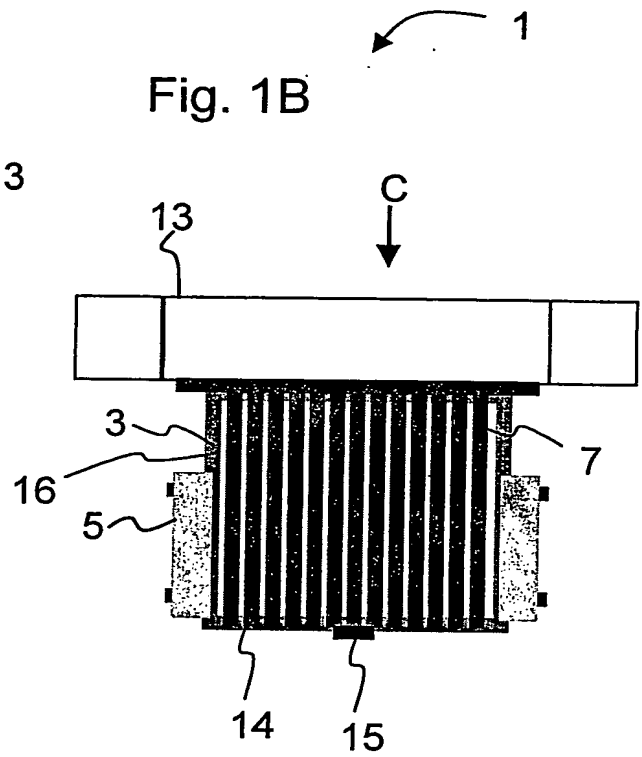
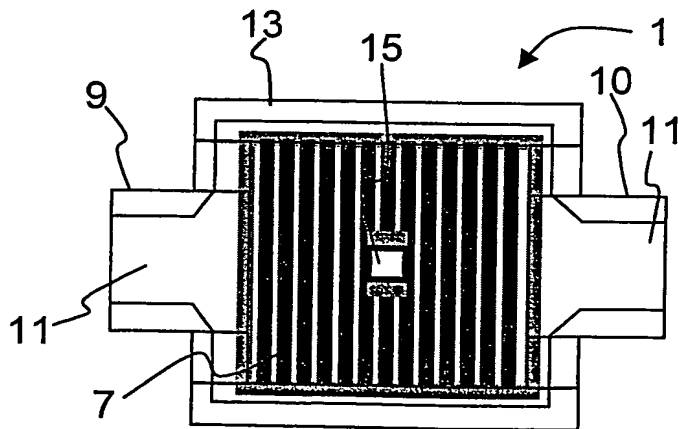


Fig. 1C



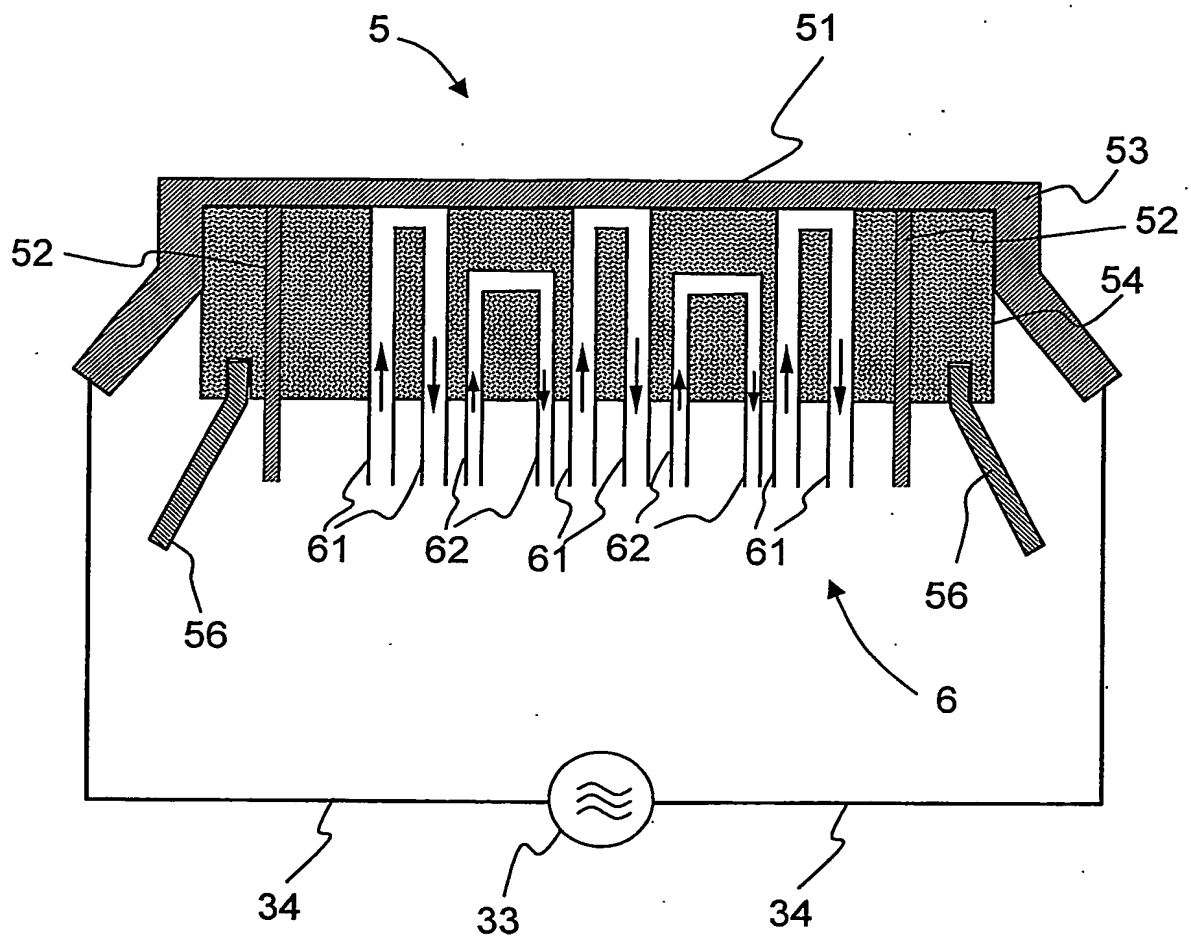


Fig. 3A

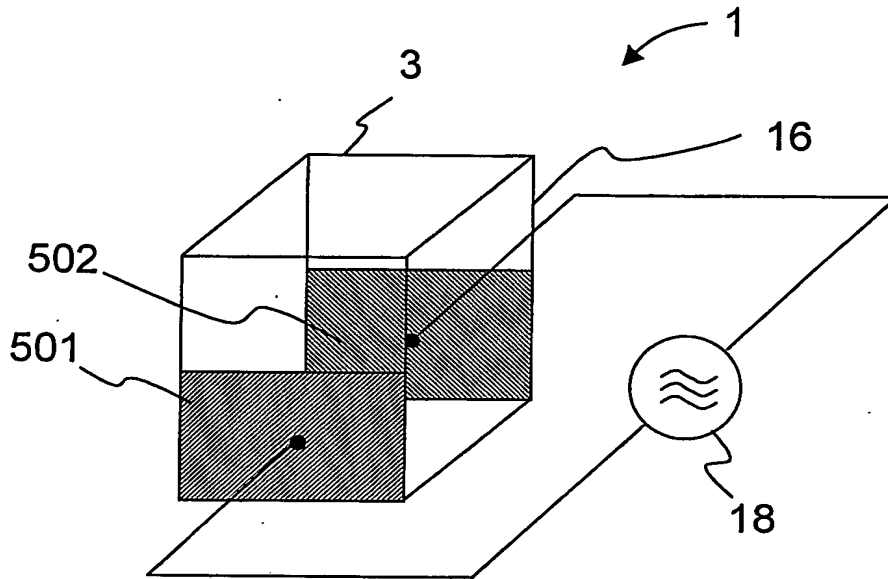


Fig. 3B

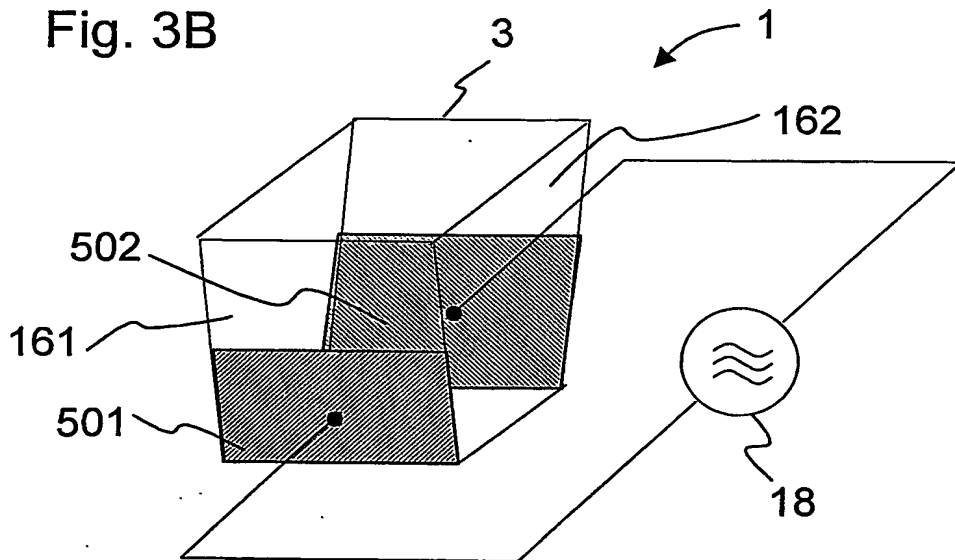


Fig. 3C

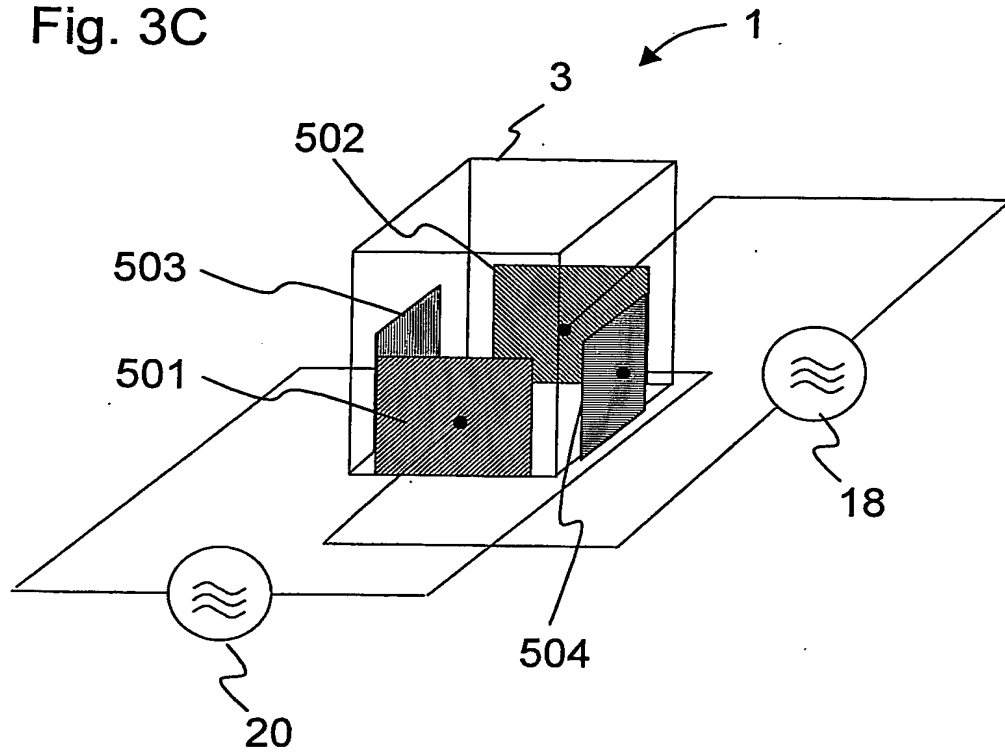


Fig. 3D

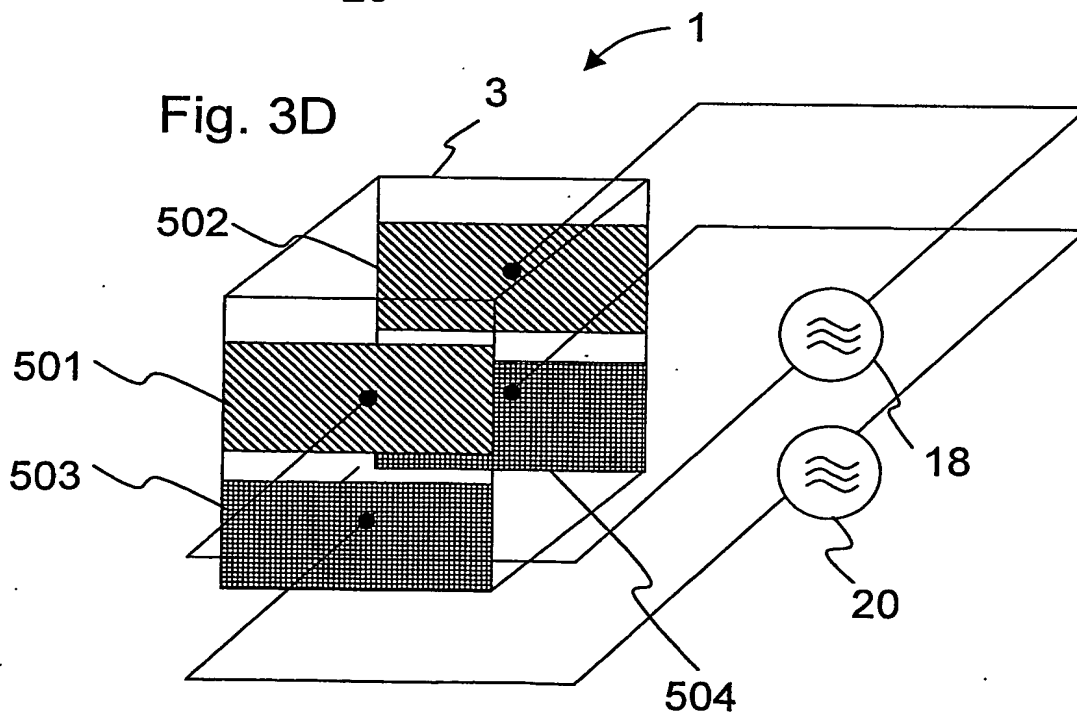


Fig. 3E

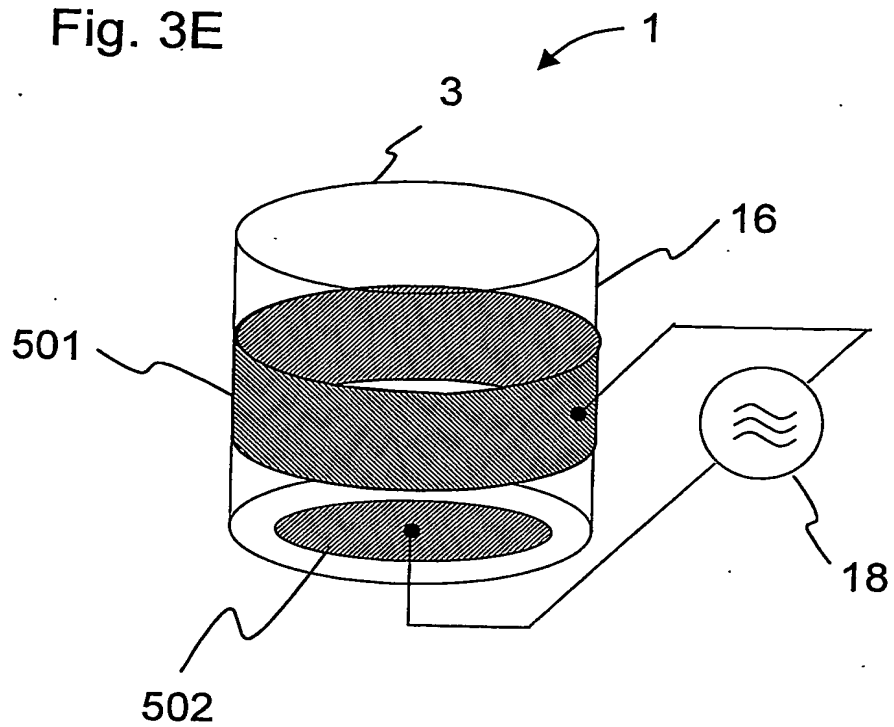


Fig. 3F

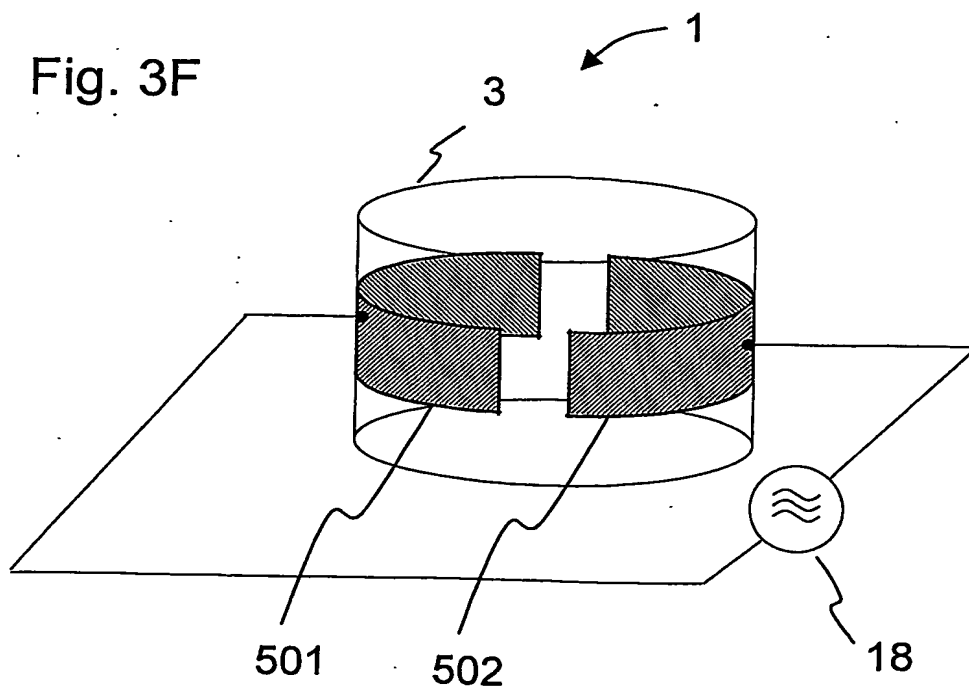


Fig. 4

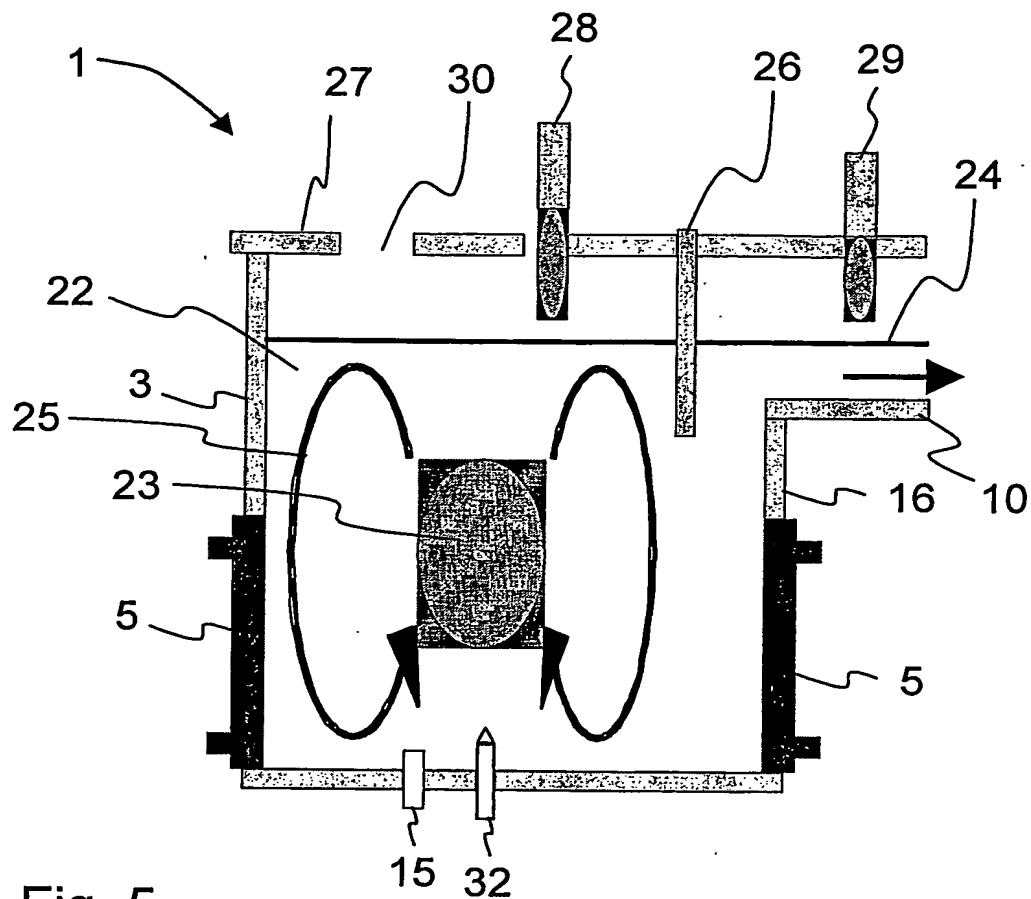


Fig. 5

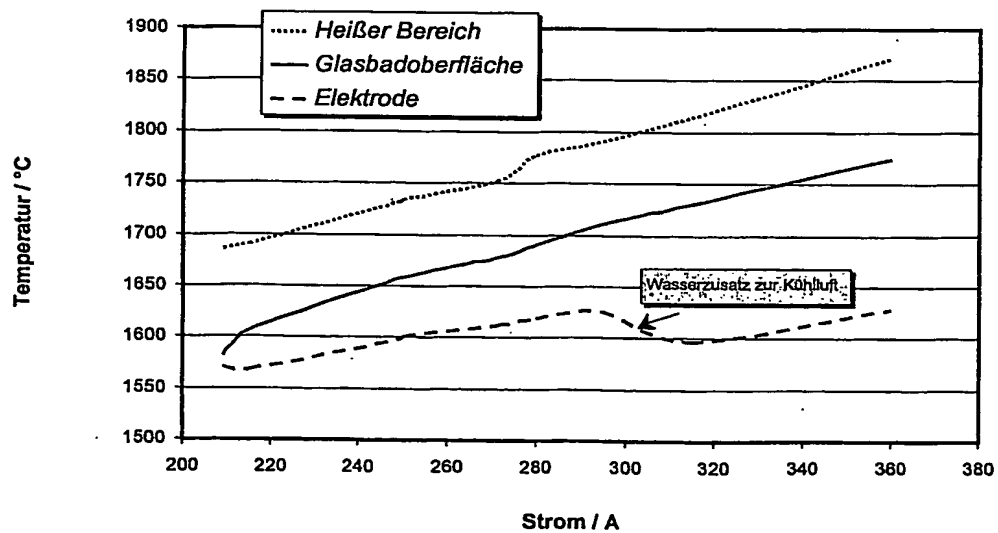


Fig. 6A

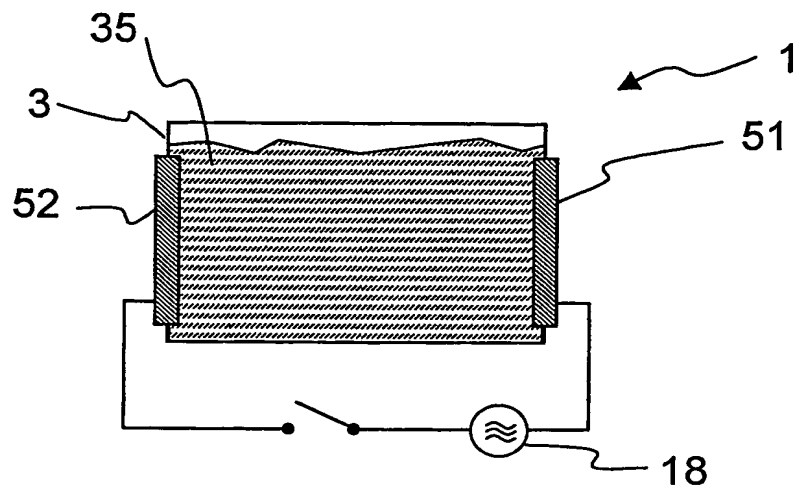


Fig. 6B

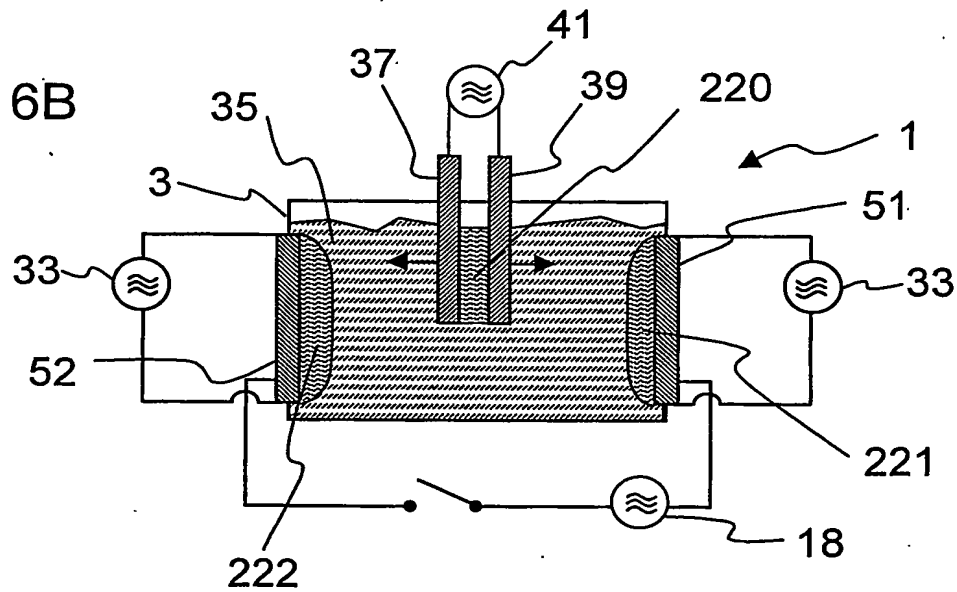
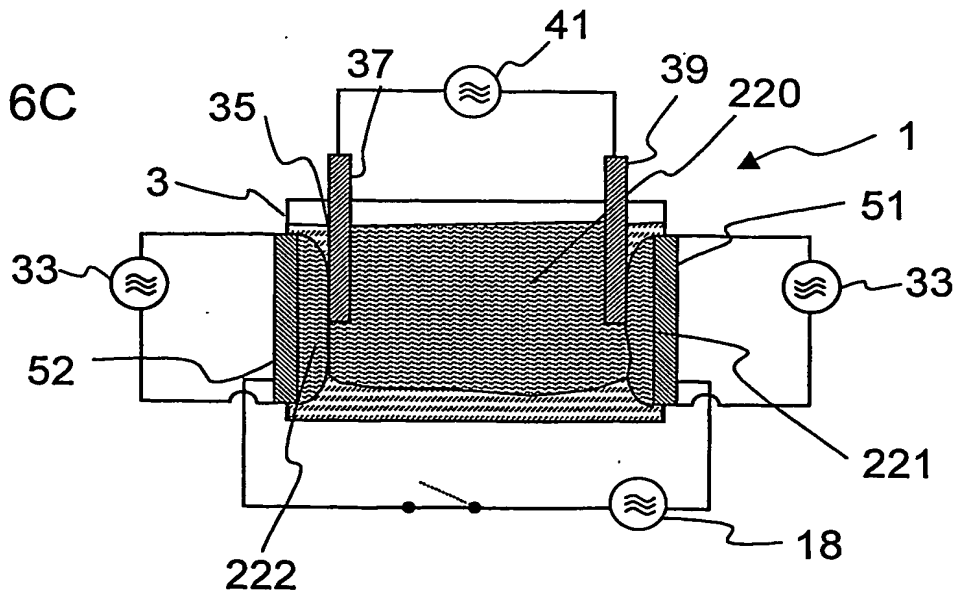


Fig. 6C



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**